90-06403/

Environment Canada Environnement Canada

An Economic Assessment of the Flood-Plain Zoning Program in the

Pierre Morissette,* Pierre Ouellette,† Nassir El-Jabi,‡ Daniel Leblanc§ and Jean Rousselle*

* Department of Civil Engineering, École Polytechnique de Montréal
† Economics Research and Development Centre and Department of Economics, Université de Montréal
‡ Engineering Department, University of Moncton
§ Department of Industrial Engineering, École Polytechnique de Montréal

SCIENTIFIC SERIES NO. 161

INLAND WATERS DIRECTORATE
QUEBEC REGION
WATER PLANNING AND MANAGEMENT BRANCH
SAINTE-FOY, QUEBEC, 1988

(Disponible en français sur demande)

Published by authority of
the Minister of the Environment

© Minister of Supply and Services Canada 1988

Cat. No. En 36-502/161E

ISBN 0-662-16592-6

Contents

		Page
ABSTRACT		v
RESUME		vi
LIST OF SYMBOLS		vii
ACKNOWLEDGMENTS		ix
1.	INTRODUCTION	1
2.	ZONING PROGRAM	3
	2.1 Mapping and zoning programs	3
	2.2 Study area	4
	2.3 Hydrologic characteristics	7
	2.4 Physical capital stock	9
3.	DAMAGE ESTIMATION	14
	3.1 Equation for mean annual damage	14
	3.2 Base relations	16
	3.3 Mean annual unit damage	18
	3.4 Mean percentage of residences affected	22
4.	ECONOMIC ASSESSMENT OF PROGRAM	24
	4.1 Calculation of benefits	24
	4.2 Benefit-cost analysis	28
	4.3 Soundness of results	35
5.	CONCLUSION	37
REFERENCES		38

Tables

2.1	Compensation paid following 1974 and 1976 floods	8
2.2	Number (NR_0) and mean value (MVR_0) of residences by hydroeconomic cell in 1977	10
2.3	Average rate of increase in the number (ι) and mean value (Ψ) of residences (%)	12
3.1	Characteristics of hydrometric stations	18

Tables (Cont.)

		Page
3.2	Value of variables for damage estimation	20
3.3	Flood depths and mean unit damage (cell OUT.2)	20
4.1	Value of total damage (TD) in 1977 dollars (X 1000)	26
4.2	Value of total benefits (TB) in 1977 dollars (X 1000)	27
4.3	Value of benefits by group involved, in 1977 dollars (X 1000)	31
4.4	Benefit-cost ratios	34

Illustrations

Figure 2.1	The Outaouais Regional Community, Quebec	4
Figure 2.2	Geographical profile of the Outaouais Regional Community	5
Figure 2.3	Typical representation of a hydroeconomic cell	6
Figure 3.1	Depth of submersion/unit damage relation	17
Figure 3.2	Representation of flood depth	19
Figure 3.3	Flood frequency/mean unit damage relation (cell OUT.2)	22
Figure 3.4	Flood frequency/number of residences affected relation (cell OUT.2)	23
Figure 4.1	Flood frequency/damage relation (zoning program)	25

Abstract

As one of the measures available to reduce flood losses, zoning programs enable control over the increase of economic activities in certain areas of flood plains. The purpose of this study is to assess the cost-effectiveness of the flood plain zoning program implemented by the Outaouais Regional Community after designation of its flood zones under the federal-provincial flood risk mapping program.

To achieve this objective, the authors use a hydroeconomic model to assess the mean unit damage resulting from a flood. Based on the similarity between flood flow and mean unit damage time series, they then apply the model of extreme values to the damage time series. The capital stock existing in the flood plains, as well as its spatial distribution and chronological evolution, is also evaluated. Using these data, mean annual damages are calculated for regulated and unregulated systems to determine the costs and benefits of the program.

The program as a whole proved cost-effective, its benefit-cost ratio being greater than 1. However, analysis of its effect on three main groups involved in the program - governments, municipalities and individuals - indicates that for governments, the benefit-cost ratio is usually less than 1. The principal beneficiaries are landowners who, because of imperfection in the markets, do not have an immediate interest in the establishment of such programs. It is thus clear that this type of program can only be implemented when public bodies involved adopt an interventionist policy.

Abstract

Among the measures available to reduce flood losses, with a zoning program it is possible to limit the increase of economic activities in certain areas of flood plains. The purpose of this study is to assess the cost-effectiveness of the flood plain zoning program implemented by the Outaouais Regional Community after designation of its flood zones under the federal-provincial flood risk mapping program.

To achieve this objective, the authors use a hydroeconomic model to assess the mean unit damage resulting from a flood. Based on the similarity between flood flow and mean unit damage time series, they then apply the model of extreme values to the damage time series. The capital stock existing in the flood plains, as well as its spatial distribution and chronological evolution, is also evaluated. Using these data, mean annual damages are calculated for regulated and unregulated systems to determine the costs and benefits of the program.

The program as a whole proved cost-effective, its benefit-cost ratio being greater than 1. However, analysis of its effect on three main groups involved in the program - governments, municipalities and individuals - indicates that for governments, the benefit-cost ratio is usually less than 1. The principal beneficiaries are landowners who, because of imperfection in the markets, do not have an immediate interest in the establishment of such programs. It is thus clear that this type of program can only be implemented when public bodies involved adopt an interventionist policy.

List of Symbols

TB	Total benefit expressed in constant dollars at start of period
GTAB	Total actualized benefit to governments
d	Variable representing physical and non-physical damage
MAD	Mean annual damage
TD	Total damage expressed in constant dollars at start of period
MUD	Mean unit damage
MAUD	Mean annual unit damage
$F(z_j)$	Function of the unit damage sustained by economic unit j from depth of submersion z_j
H(x)	Function of the distribution of the values of mean unit damages
K	Variable representing all of capital stock affected by a flood
KR_i	Value of the residences affected by the flood during year i
KTR_i	Total value of the residences during year i
n	Project lifetime
N	Number of economic units affected by a flood
NR	Total number of residences located in the flood plains
MPR	Mean percentage of residences affected annually by flooding
r	Actualization rate
TACG	Total actualized compensation from governments
MAUCG	Mean annual unit compensation from governments
MVR	Mean value of residences
z	Depth of submersion
α, β	Coefficients of the unit damage function
γ	Parameter of the exponential distribution function of the values of mean unit damages

$\lambda(t)$	Mean number of damage-generating events in the time interval $(0,t]$
$\rho(x)$	Flood frequency/mean unit damage relation
τ	Average annual rate of increase in the number of residences located in the flood plains
$\varphi(x)$	Relation between flood frequency and the number of residences affected by a flood
ψ	Average annual rate of increase in the mean value of residences located in the flood plains

Acknowledgments

This study was conducted at the Department of Civil Engineering of the Ecole Polytechnique de Montréal by the Groupe de recherche sur l'eau en milieu urbain (GREMU), with the assistance of a research grant from Environment Canada.

The authors would like to express their gratitude to Jean-Yves Pelletier of Environment Canada, Pierre Larouche of Environment Quebec, and Jacques Perrier and Guy Martineau of the Outaouais Regional Community for their support and valuable comments.

Introduction

From year to year, floods continue to be a major problem, requiring considerable sums of money for the protection of the populations concerned, flood control, and the rehabilitation of damaged areas.

Historically, civilizations settled along the banks of waterways to take advantage of the proximity of the water. Subsequently, the process of urbanization took hold within these communities and led to the proliferation of economic activities in these regions. At the same time, these communities were exposed to the dangers of flooding. In response, they established flood control or protection programs. Over the years, these programs have grown in number, but contrary to expectations, damage has continued to increase.

In Canada, flooding is a serious phenomenon: at least 200 localities have to contend with flooding each year (Environment Canada, 1983). Although different levels of government have spent large sums of money on hydraulic structures and paid compensation, significant losses have still been sustained and the risk of disaster continues to grow. These reasons have prompted the federal and provincial governments to adopt flood prevention policies, the objectives of which are (1) in the short term, to prevent more damage from flooding and (2) in the long term, to reduce and even eliminate such damage.

To pursue these objectives, the Canadian and Quebec governments signed an agreement on October 4, 1976, with respect to flood plain mapping. By publishing colour topographical maps, this program was intended to identify areas prone to flooding and limit the establishment of vulnerable new construction. By April 1977, the Outaouais Regional Community had incorporated in its territorial development plan a restrictive policy with respect to construction in areas thus designated.

In this context, the objective of the research reported here is to assess, by means of a cost-benefit analysis, the economic impact of the program in the Outaouais region. The economic cost-effectiveness of the program is measured for three groups: the federal and provincial governments, municipalities, and owners of property located on flood plains.

The costs involved in setting up and administrating the mapping and zoning program are assessed. The benefits are measured only in terms of the reduction in damage with respect to the residential sector of the regions mapped. They are obtained by determining the difference between the mean annual damage under the base system (unregulated) and under the regulated system (Richard, 1981). The term "base system" is used to define the set of hydrologic, hydraulic and economic conditions that would probably have existed had the zoning program not been implemented. The term "regulated system" is used to define conditions existing after the introduction of the program.

To assess damage under these two systems, a hydroeconomic model is used to quantify the damage associated with a particular flood. This methodology is based essentially on two types of variables: natural random variables (volume, depth of submersion, etc.) and deterministic variables (value of the physical capital stock in the region under study) (El-Jabi et al., 1982b). Using this methodology, we will assign to each flood an estimated mean unit damage caused by the flood.

By drawing up a list of floods over a long period of observation, it is possible to generate a discrete stochastic process formed by the mean unit damage series. This base series is analyzed by means of the theory of extreme values. Ouellette et al. (1986) have shown that there is a degree of similarity between a flood of a given depth and the mean unit damage resulting from it. Therefore the stochastic model of extreme values may be applied to the mean unit damage series. As this model has been developed in detail by Todorovic and Rousselle (1971) and later by several other authors, it is not described here.

Zoning Program

Following the catastrophic floods of 1974 and 1976, which caused damage of over $50 million in Quebec alone, the governments of Canada and the provinces gave top priority to the zoning of flood plains in order to restore the regions to their natural role, i.e., being periodically invaded by water without damage to public or private property (Harvey, 1979). The Outaouais Regional Community (ORC) responded quickly by adopting a regulation on flood zones as early as April 1977. In this chapter, its program is described as well as the hydraulic and economic characteristics of the region.

2.1 Mapping and Zoning Programs

The agreement between the governments of Canada and Quebec to reduce damage by controlling development within flood plains led to the mapping of the main flood-prone areas in Quebec. The resulting maps have become essential working documents for developing means of combatting flooding and, in particular, for planning the development of certain areas being urbanized along rivers.

The flood plains were divided into two zones: the high-flow and the low-flow channel zones. The high-flow channel zone stretches from the river bank to the line of floodwater statistically likely to occur once every 20 years, with an annual probability of 5%. The low-flow channel zone extends from the first zone to the limit of floodwaters statistically likely to occur once every 100 years, with an annual probability of 1%.

Flood-plain zoning was introduced in the Outaouais Regional Community on April 14, 1977. The program is part of an overall development plan for the region's urban and rural territory. Essentially, this policy bans any new work in the high-flow zone and stipulates that only works protected up to the 100-year level according to specific standards may be erected in the low-flow zone.

Moreover, the policy provides for a general ban on new communication routes and new water supply and wastewater disposal networks in high-flow channel zones.

2.2 Study Area

The Outaouais region lies in southwestern Quebec, along the Ontario border, at the confluence of the Gatineau and Ottawa rivers (Fig. 2.1). It comprises ten

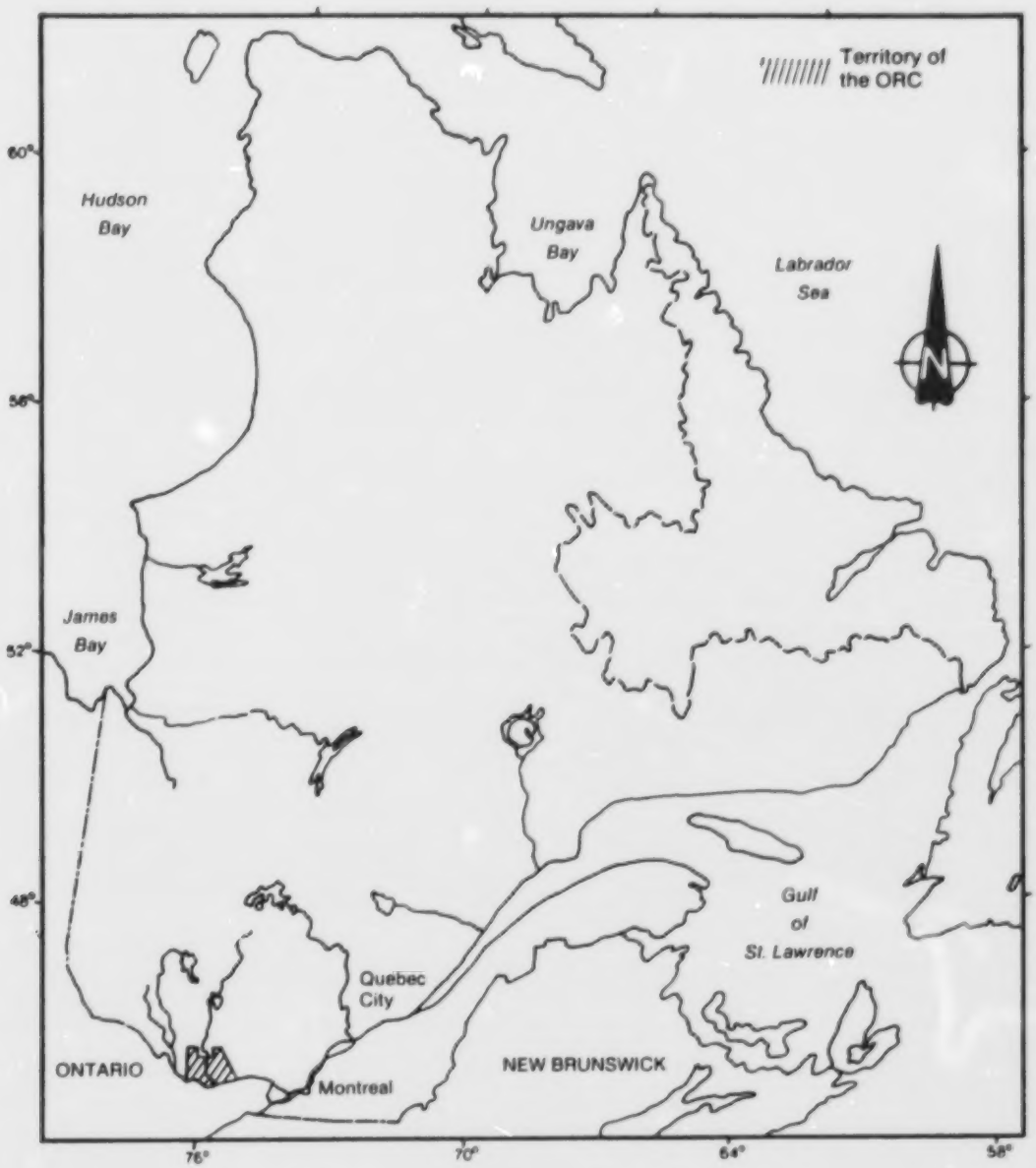

Figure 2.1 The Outaouais Regional Community, Quebec.

cities, towns and municipalities focussed around Hull, the region's economic centre. Figure 2.2 presents a geographical profile of the region.

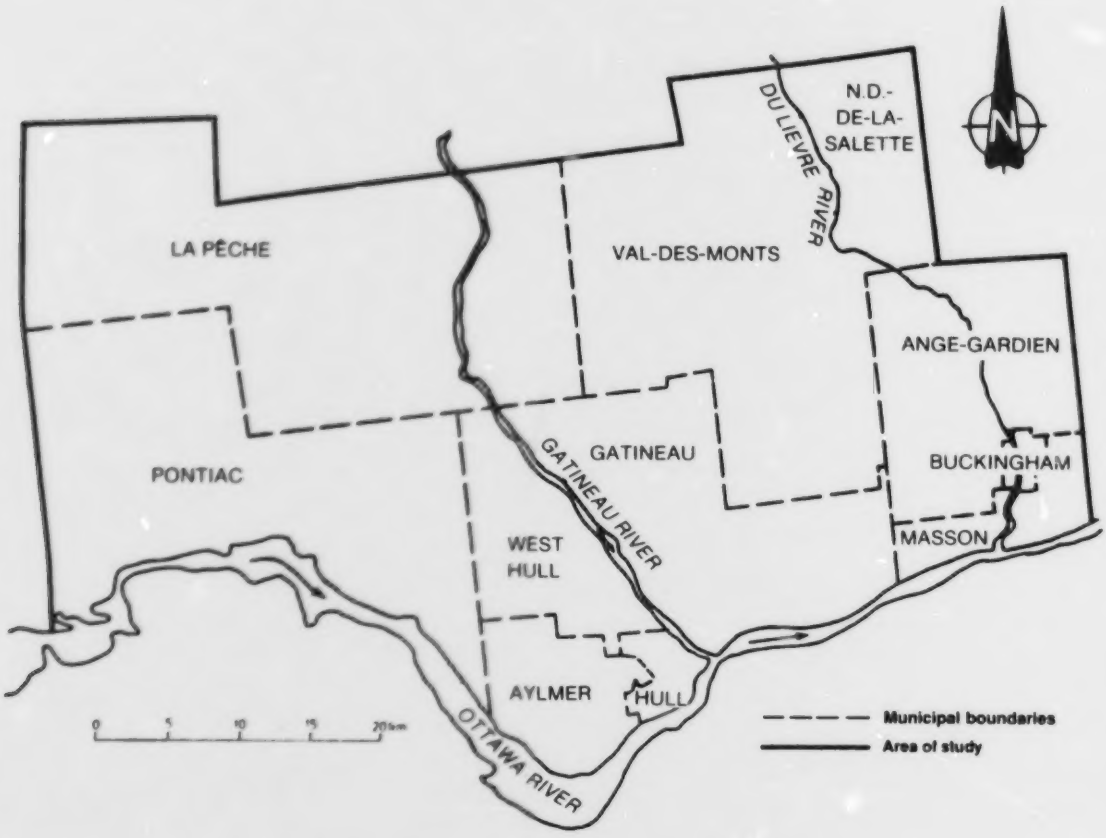

Figure 2.2 Geographical profile of the Outaouais Regional Community.

(a) Division of Study Area into Hydroeconomic Cells

To increase the accuracy of the models used, the region under study was divided into hydroeconomic cells according to the following criteria: similarity of value of the capital stock in each cell, and little level change in the hydraulic profile between the upriver and downriver ends of each cell.

A typical hydroeconomic cell is shown in Figure 2.3. The cell includes both mapped regions extending from the banks to the 100-year flood line and unmapped

regions beyond this line. For the assessment of damage, no distinction is made between the high-flow and low-flow channel zones as defined by cartographic convention, since the zoning regulation stipulates that in the low-flow zone all new construction must be protected at least up to the 100-year level. As a result, this construction is located outside the mapped area. Thus, there will be no increase in the number of residences in either zone.

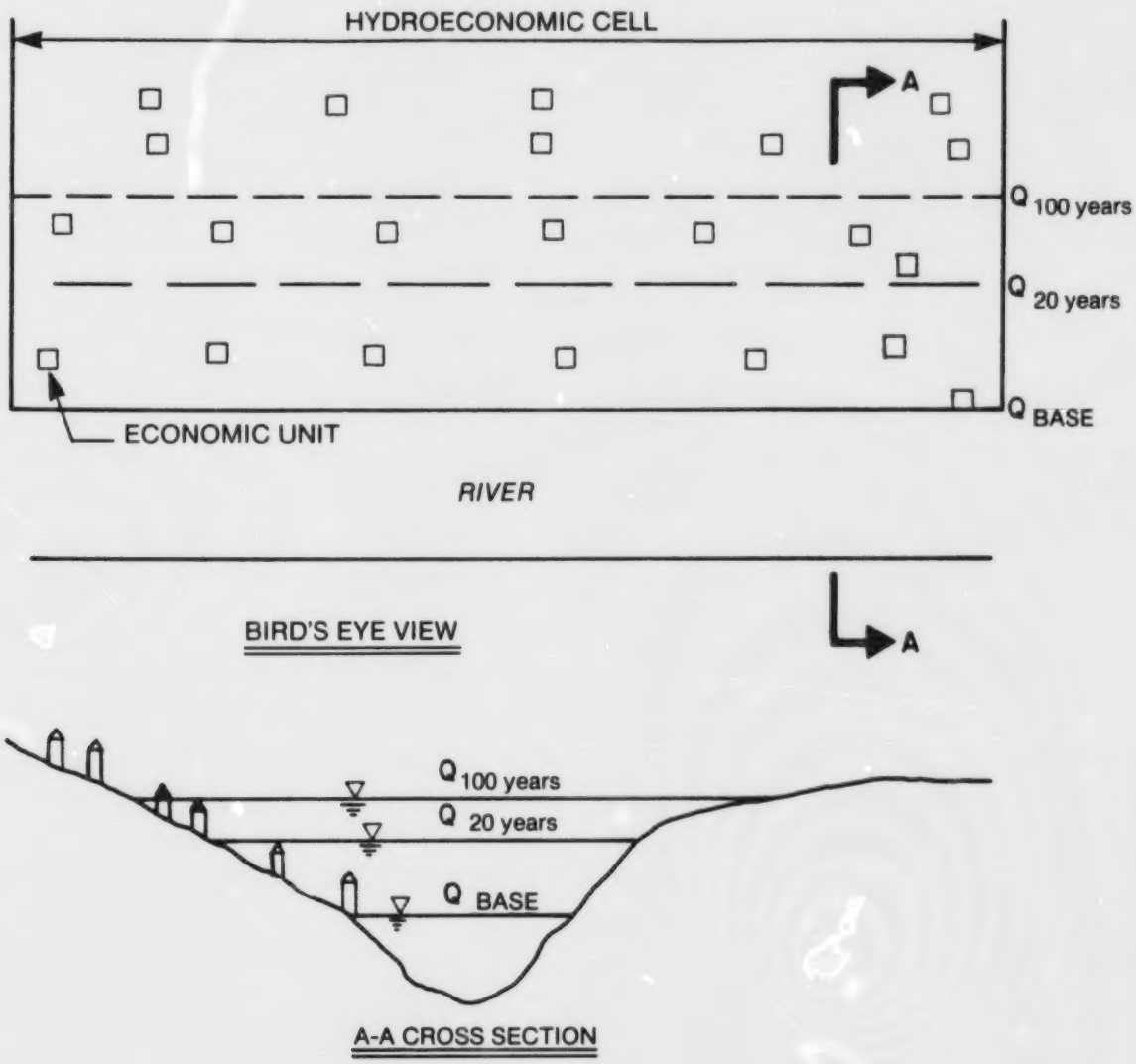

Figure 2.3 Typical representation of a hydroeconomic cell.

The mapping program led to the identification of the flood plains in three cities or towns and three municipalities in the Outaouais region: the town of Aylmer, the cities of Gatineau and Masson, and the municipalities of West Hull, La Pêche and Pontiac. Owing to their geographical and physical situation, the cities of Hull and Buckingham and the municipalities of l'Ange-Gardien, Notre-Dame-de-la-Salette and Val-des-Monts are protected from 100-year floods.

For the cities, town and municipalities mapped, six hydroeconomic cells were defined:

(i) Cell OUT.1: city of Masson;
(ii) Cell OUT.2: city of Gatineau;
(iii) Cell OUT.3: town of Aylmer and municipality of Pontiac;
(iv) Cell GAT.1: municipality of West Hull;
(v) Cell GAT.2: municipality of La Pêche (southern sector);
(vi) Cell GAT.3: municipality of La Pêche (northern sector).

As will be seen in the numerical application, cell OUT.2 is by far the most important economically, whichever criterion is used.

(b) Historical Damage

The Outaouais region is frequently flooded. In 1974 and 1976, in particular, spring floods caused substantial damage. Table 2.1 shows the compensation paid by the Quebec government to the cities, towns and municipalities in the region. In 1974, 1.8 million (1974 dollars) was paid to the cities, towns and municipalities concerned, of which $1.4 million went to compensate 722 homeowners. This represents an average of $1940 per residence damaged. In 1976, the governments paid compensation of $1.2 million (1976 dollars), including $850 000 to compensate 540 homeowners. This represents an average of $1575 per residence damaged.

2.3 Hydrologic Characteristics

Residents of the Outaouais region have to contend with the Ottawa and Gatineau rivers overflowing their banks. This study therefore deals with the hydraulic pattern of these two rivers.

Table 2.1 Compensation Paid Following 1974 and 1976 Floods

City, town or municipality	1974 (1974 dollars)	1976 (1976 dollars)
Aylmer	-	2 800
Gatineau	1 570 295	1 026 264
West Hull	3 315	-
La Pêche	132 089	4 599
Masson	97 403	144 617
Pontiac	-	8 733
Total	1.8 million	1.2 million

Source: Data supplied by the Quebec Department of the Environment.

The Ottawa River forms the border between the provinces of Quebec and Ontario over most of its length. Its drainage basin covers a total of 146 334 km^2, of which 65% is in Quebec and 35% in Ontario. It has a highly variable hydraulic pattern, with a mean flow of 2200 $m^3 \cdot s^{-1}$, a maximum flow reaching 10 000 $m^3 \cdot s^{-1}$, and a minimum flow, with human intervention, of 350 $m^3 \cdot s^{-1}$.

The hydraulic pattern of the Ottawa River is greatly affected by the existence of 27 reservoirs and 43 hydroelectric plants, largely located in the upper section of the drainage basin, controlling some 60% of its surface area. Most of these major control works were built to exploit the region's hydroelectric potential and meet local energy demand. The Ottawa River Regulation Planning Committee was established jointly in 1977 by the various parties involved in the system: the governments of Canada, Quebec and Ontario, and the hydroelectric authorities of Ontario and Quebec. In 1980, the Committee developed an operating policy and a model for optimizing these works with a view to minimizing the risk of flooding in flood-prone regions while taking into account the production of electrical energy. After March 1983, the Committee was renamed as a Commission. Since then, the Commission and its Secretariat have managed the regulation model.

From its source east of the Dozois Reservoir to its outlet in lac des Deux Montagnes, the Ottawa River travels over 1130 km. The area studied here lies

within the boundaries of the Outaouais region, in the section some 100 km in length between the municipality of Pontiac and the city of Masson.

The drainage basin of the Gatineau River covers 23 600 km^2. From its source to its outlet in the Ottawa River between Hull and Gatineau, the river travels some 360 km. The area studied, about 50 km in length, comprises the section between the municipality of La Pêche and the outlet of the river.

2.4 Physical Capital Stock

To assess flood damage, one needs to know the capital stock present in the flood plain on the implementation of the zoning program, as well as its development over time. Since only the residential sector of the mapped areas in the Outaouais region is under study, this stock has been evaluated by estimating the following variables:

(i) NR_0: number of residences located in the mapped areas in 1977;
(ii) MVR_0: mean value of these residences in 1977;
(iii) τ: average annual rate of increase in the number of these residences;
(iv) ψ: average annual rate of increase in the mean value of these residences.

The residential sector was divided into two types of units (permanent residences, and secondary residences or cottages) to evaluate variables NR_0 and MVR_0. In estimating the rates of increase, however, the residential sector as a whole was studied. In the following sections, the estimation of these variables is explained.

(a) Number of Residences

Using topographical maps, we were able to find the number of residences (NR_0) located in the flood plains in each of the hydroeconomic cells in 1977. In addition, ORC staff helped us to determine, on the basis of this information, the proportion of principal residences to secondary residences. These data are presented in Table 2.2.

Table 2.2 Number (NR_0) and Mean Value (MVR_0) of Residences by Hydroeconomic Cell in 1977

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 West Hull	GAT.2 La Pêche (south)	GAT.3 La Pêche (north)
Number of principal residences	22	870	54	8	30	3
Number of secondary residences	60	9	21	29	71	44
Mean value of principal residences	30 700	35 500	41 600	49 000	29 500	29 500
Mean value of secondary residences	9 800	9 000	18 700	19 300	13 600	13 600

(b) Mean Value of Residences

The mean value of principal and secondary residences (MVR_0) was calculated from the 1977 municipal assessment lists for each municipality in the Outaouais region. In the evaluation, the results were aggregated by municipality; in this way, it is supposed that the mean value of residences located in the flood plains is equal to the mean value of all residences in the corresponding unit. Table 2.2 presents the data obtained separately for the two types of units, principal residences and secondary residences.

(c) Average Rate of Increase in the Number of Residences

The mean annual rate of increase in the number of residences (τ) differs for the two systems studied. In the case of the regulated system, the annual rate of increase in the number of residences is nil, since the zoning program prohibits

all new construction in the high-flow channel zone and imposes construction standards in the low-flow zone to protect new dwellings from the recurrence of more than once every 100 years.

In the case of the base system, an estimate is made of the mean annual increase in the number of residences if the zoning program had not been implemented. This step is very important, since the value of the benefits associated with the zoning program is largely influenced by this variable. Consequently, three scenarios were considered for the evaluation of this variable:

Scenario A: The average rate of increase in the number of residences in a mapped area is the same as that in the hydroeconomic cell in which the area lies;

Scenario B: The rate of increase in the number of residences in a mapped rural area is the same as in all rural municipalities in the region; the rate in a mapped urban area is the same as in urban towns and cities overall in the region;

Scenario C: The rate of increase in the number of residences in the mapped areas is the same as in the Outaouais region as a whole.

To determine these rates, we took the rate of increase in the number of residential units in each city, town and municipality in the region during the period 1977 to 1985. It was assumed that potential residents of the flood plains relocated within the regional boundaries, and therefore the zoning program had no influence on the rate of increase in the number of residences in the different cells mapped. Justification for this scenario is all the greater, since the number and value of residences in the mapped areas is relatively low compared with that for the entire cell.

To assess the rates under scenario B, the urban and rural municipalities, towns and cities of the Outaouais region were grouped together. The urban areas include the cities of Hull, Gatineau and Buckingham, and the town of Aylmer; the rural areas comprise the town of Masson and the six ORC municipalities.

The rates of increase in the number of residences (τ) in the case of the base system are presented in Table 2.3.

Table 2.3 Average Rate of Increase in the Number (τ) and Mean Value (Ψ) of Residences (%)

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 West Hull	GAT.2 La Pêche (south)	GAT.3 La Pêche (north)
(Scenario A)						
τ	0.7	1.5	1.4	0.3	0.6	0.6
Ψ	-4.5	-3.0	-2.7	-1.7	-2.9	-2.9
(Scenario B)						
τ	0.6	1.4	1.4	0.6	0.6	0.6
Ψ	-4.5	-3.0	-2.7	-1.7	-2.9	-2.9
(Scenario C)						
τ	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Ψ	-4.5	-3.0	-2.7	-1.7	-2.9	-2.9
(Scenario D)						
τ	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Ψ	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

(d) Average Rate of Increase in the Mean Value of Residences

The average rate of increase in the mean value of residences in the flood plains in a hydroeconomic cell (ψ) was determined from the rate of increase in the mean value of residences in the unit as a whole. To this end, the municipal assessments for 1977-1984 were consulted for all municipalities in the Outaouais region. From this rate, the rate of inflation between 1977 and 1984 was subtracted to assess the benefits in constant dollars. Base changes in the municipalities' real property assessment were also taken into account.

The annual rate of increase in the mean value of residences is identical for the base and regulated systems. This statement assumes that the zoning program has no effect, either downward or upward, on the mean value of the residences located in the flood plains. In fact, the value of a residence may vary due to various environmental factors surrounding the property in question.

For this period, a decline in the mean (real) value of the residences was noted. These values of ψ were retained for scenarios A, B and C, constructed on the rates of increase in the number of residences (τ).

Considering these values of ψ to be pessimistic for the long term, another scenario (D) was constructed, in which the rate of increase in the mean value of residences is equal to 2.5% and the rate of increase in the number of residences is equal to 1.2%. This bracketing hypothesis is thus optimistic, with high probability in the long term. Not only does the current evolution of the real estate sector confirm this, but in particular, the scenario indirectly takes into account the increase in value of the residences' contents.

The values of the different rates for the four scenarios are given in Table 2.3.

Damage Estimation

In this chapter, the mean annual damage under the regulated and base systems is calculated in order to assess the economic viability of the federal-provincial mapping program and the Outaouais region's zoning program. The model of extreme values is used to estimate the mean annual unit damage. In using this model, however, only the annual distribution of floods will be considered, since in Quebec, between 80% and 90% of flooding occurs in the spring and is caused by spring runoff. Previous studies (El-Jabi et al., 1982a) have shown that for this reason, annual and seasonal distributions provide almost identical results.

3.1 Equation for Mean Annual Damage

Using the model of extreme values, we will determine the mean annual unit damage (MAUD). From this variable we will estimate the mean annual damage (MAD) for the residential sector by the following relation (Ouellette et al., 1985):

$$MAD_i = MAUD * KR_i \tag{3.1}$$

where KR_i is the value of the residences affected by the flood during year i. This variable may be expressed as follows:

$$KR_i = MPR * KTR_i \tag{3.2}$$

where MPR represents the mean percentage of residences affected annually by flooding and KTR_i is the total value of the residences during year i.

If the spatial distribution of residences in the flood plain is known, as well as the flood frequency/depth of water relation determined by a hydrological model, the relation $\varphi(x)$ associating the number of residences affected by a flood

with the flood frequency may be derived. By integrating this relation, the mean number of residences affected annually by floods is calculated, and by dividing this result by the total number (NR) of the residences located in the flood plain, the variable MPR is obtained. This variable may then be expressed as follows:

$$MPR = \frac{1}{NR} * \int_0^{\infty} \varphi(x)\, dx \qquad (3.3)$$

By drawing up a list of residences located in the flood plains, we can determine relatively easily the variable KTR_1, which may be broken down as follows:

$$KTR_1 = NR_1 * MVR_1 \qquad (3.4)$$

where NR_1 is the number of residences located in the mapped areas of the hydroeconomic cell during year i and MVR_1, the mean value of these residences for year i.

In the previous chapter (Section 2.4), we determined the annual rates of increase in the number of residences located in the flood plains of a hydroeconomic cell (τ) and in the mean value of these residences (ψ). Integrating these variables in equation (3.4), we thus obtain:

$$KTR_1 = NR_0 * (1 + \tau)^1 * MVR_0 * (1 + \psi)^1 \qquad (3.5)$$

where NR_0 is the number of residences located in the flood plains in 1977 and MVR_0, the mean value of these residences in 1977.

Equation (3.1) thus becomes:

$$MAD_1 = MAUD * MPR * NR_0 * MVR_0 * [(1+\tau)*(1+\psi)]^1 \qquad (3.6)$$

An examination of each of the variables in this equation shows that only the value of τ differentiates the calculation of the mean annual damage under the regulated system from that under the base system; τ is the rate of increase in the number of residences in the mapped areas of the hydroeconomic cell. In the

first case, $\tau = 0$. In the second, τ is assumed to be equal to a certain value, determined in the previous chapter (Section 2.4) according to the rate of increase in the number of residences in the region.

The variables NR_0, MVR_0, τ and ψ have already been estimated (Section 2.4 and Tables 2.2 and 2.3). In Sections 3.3 and 3.4, the variables MAUD and MPR will be assessed. It will then be possible to calculate the mean annual damages, from which the benefits will be obtained. But, before that, we shall determine the base relations needed to evaluate these variables.

3.2 Base Relations

Three relations are necessary to define the mean unit damage (MUD), the base variable used in the model of extreme values. These are depth of submersion/unit damage relation; number of residences/elevation relation; depth of water/flood frequency relation.

(a) Unit Damage Function

The depth of submersion/unit damage relation is given by the unit damage function, which is expressed by a modified Gompertz function (El-Jabi, 1980):

$$F(z) = \frac{d}{K} = \frac{1}{e^{e^{-\alpha}} - 1} * [e^{[1 - e^{-\beta z}]} * e^{-\alpha} - 1] \qquad (3.7)$$

where d is the value of the damage, K the value of the capital stock, and z the depth of submersion.

Calibration of this function is performed by estimating two parameters (α and β), which depend upon the economic characteristics of the area under study. These may be determined in a post-flood survey. After the 1976 floods, a post-flood survey was conducted by the Centre de recherche en aménagement régional (CRAR, 1977) in the Richelieu River area. El-Jabi (1980) estimated these parameters characterizing that region by the least-squares method for nonlinear functions.

By applying this model to the residential sector alone (this sector is relatively homogeneous within Quebec), it is possible to transpose the values of these parameters from one region to another. In other words, it is supposed that for the same depth of submersion, the unit damage (damage in <u>percentage</u> of the value of the residence) sustained by a residence in the Outaouais region is equal to that sustained by a residence in the Richelieu region. For this sector as a whole, the values obtained by El-Jabi <u>et al</u>. (1981) are $\alpha = 0.953$ and $\beta = 0.108$. The unit damage function is thus expressed as follows (Fig. 3.1):

$$F(z) = \frac{d}{K} = \frac{1}{e^{e^{-0.953}} - 1} * [e^{[1 - e^{-0.108z}]} * e^{-0.953} - 1] \qquad (3.8)$$

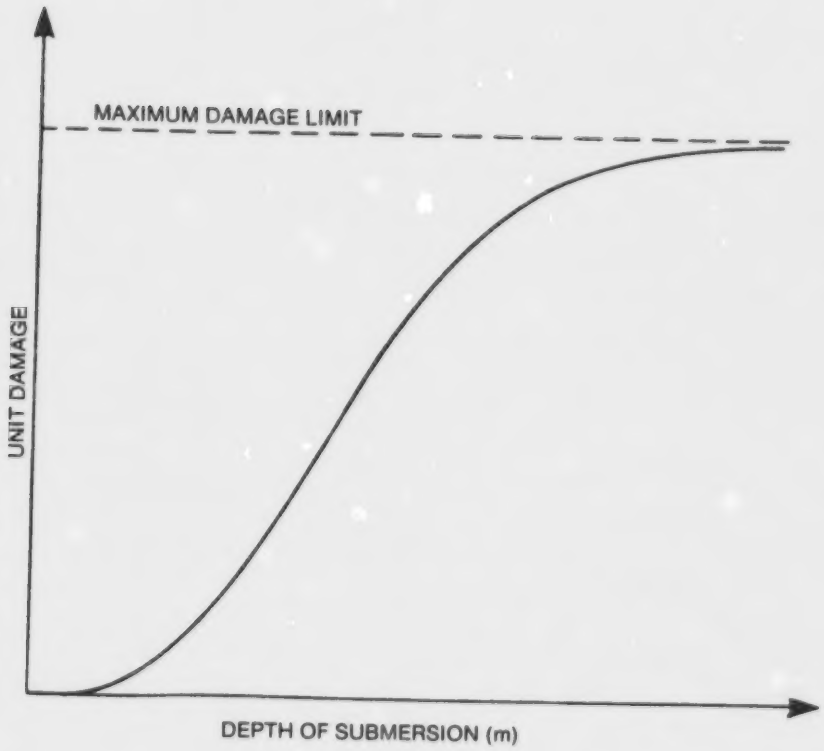

Figure 3.1 Depth of submersion/unit damage relation.

(b) Number of Residences/Elevation

Since this study is restricted to mapped areas, we were able to plot on topographical maps the elevation of each of the residences located in these areas in 1977. From these data, we plotted the relation between the number of residences and their elevation.

(c) Depth of Water/Flood Frequency

Using the Type III log-Pearson law applied to maximum annual flows or water levels recorded at hydrometric stations on the Ottawa and Gatineau rivers, we established the depth of water/flood frequency relation for each of the hydroeconomic cells under study. Table 3.1 presents the numbers of the stations chosen, as well as their characteristics. Since the data from station 40801 are expressed in terms of flows, we also determined, in the case of the cells located along the Gatineau River, a depth of water/flow relation.

Table 3.1 Characteristics of Hydrometric Stations

Station	Location	Hydroeconomic cell	No. of years of observation	Period of observation
43105	Cumberland	OUT.1	66	1918-1983
43119	Hull	OUT.2	20	1964-1983
43107	Quyon	OUT.3	57	1915-1978
40801	Mercier	GAT.1 GAT.2 GAT.3	53	1931-1983

3.3 Mean Annual Unit Damage

(a) Flood Depth Series

Analysis of the series of exceedances by means of the model of extreme values requires knowledge of the base level. This is defined as the maximum water level

where damage for a hydroeconomic cell is nil. In other words, it corresponds to the level of the residence with the lowest elevation in the cell. Table 3.2 presents the value of the base level used for each unit.

Once the base level is known, it is sufficient to determine the depth of floods occurring in each cell. This was done by using the method of extreme values (Ouellette et al., 1986). Table 3.3 presents the series of flood depths obtained in the case of cell OUT.2.

(b) Mean Unit Damage Series

We then determined, using equation (3.8), the unit damage sustained by a residence given depth of submersion z. This depth of submersion was obtained by subtracting the elevation of the residence considered from the depth of the flood (Fig. 3.2). Then the mean unit damage was obtained by calculating the average of unit damages sustained by all residences affected by this flood:

$$\frac{\bar{d}}{K} = \frac{1}{N} * \sum_{j=1}^{N} F(z_j) \qquad (3.9)$$

where N is the number of residences affected by the flood of depth z, and $F(z_j)$ is the function of the unit damage sustained by residence j from depth of submersion z_j.

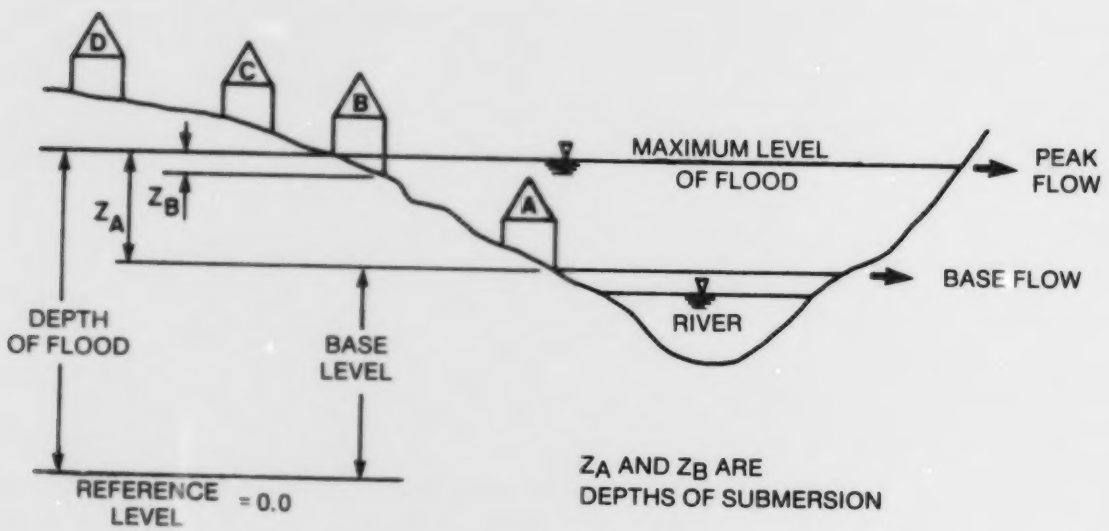

Figure 3.2 Representation of flood depth.

Table 3.2 Value of Variables for Damage Estimation

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 West Hull	GAT.2 La Pêche (south)	GAT.3 La Pêche (north)
Base level (m)	42.40	43.05	59.10	98.8	99.6	100.9
$\Lambda(\tau)$	0.662	0.947	1.286	0.811	0.811	0.358
γ	10.46	17.90	15.99	8.98	8.91	7.06
MAUD	0.0542	0.0426	0.0605	0.0748	0.0755	0.0465
MPR (%)	29.3	16.6	17.0	27.1	24.0	6.6

Table 3.3 Flood Depths and Mean Unit Damage (cell OUT.2)

Year	Day*	Depth of floods (m)	MUD
1967	90	43.28	0.044 62
1967	222	43.16	0.021 58
1971	218	43.11	0.007 22
1972	219	43.49	0.068 22
1972	233	43.07	0.005 79
1973	170	43.94	0.074 25
1973	188	43.22	0.027 67
1973	210	43.08	0.008 68
1973	227	43.09	0.011 56
1974	233	44.91	0.177 38
1976	184	44.74	0.156 94
1977	166	43.43	0.051 61
1979	216	44.12	0.085 23
1980	174	43.36	0.052 70
1980	198	43.12	0.010 11
1981	149	44.25	0.104 06
1981	198	43.11	0.007 22
1983	224	44.00	0.090 55

*The days are based on the hydrologic year: October 1 = 1, September 30 = 365.

Table 3.3 presents the series of mean annual unit damages calculated in the case of cell OUT.2.

(c) Analysis of Mean Unit Damage Series Using the Model of Extreme Values

We then applied the model of extreme values to the series of mean unit damages (CRUES version, Desjardins et al., 1984).

Using the chi-square test, we confirmed to a confidence level of 5% that the number of damage-generating events was Poisson-distributed for all the cells studied.

The distribution of mean unit damage value function (H(x) was represented by an exponential law:

$$H(x) = 1 - e^{-\gamma x} \qquad ; \gamma > 0 \tag{3.10}$$

Using the Kolmogorov-Smirnov test, the adjustment of values observed in the exponential law was confirmed to a confidence level of 5% for all the cells.

Knowing the parameters $\Lambda(t)$ of the Poisson distribution and γ of the exponential function presented in Table 3.2, we confirmed for all the cells the adjustment of the maximum mean unit damage distribution to a double exponential function to a confidence level of 5%, using the Kolmogorov-Smirnov test.

For cell OUT.2, the flood frequency/mean unit damage function is given by the following equation:

$$\rho(x) = \{1 - \exp [-0.947 * \exp (-17.90\ x\ )]\} \tag{3.11}$$

The mean annual unit damage (MAUD) is estimated by integrating the $\rho(x)$ function. The results obtained are presented in Table 3.2. Analysis of the results shows that, for instance, residences located on the flood plains in cell OUT.2 annually sustain damage evaluated on average at 4.26% of their value (Fig. 3.3).

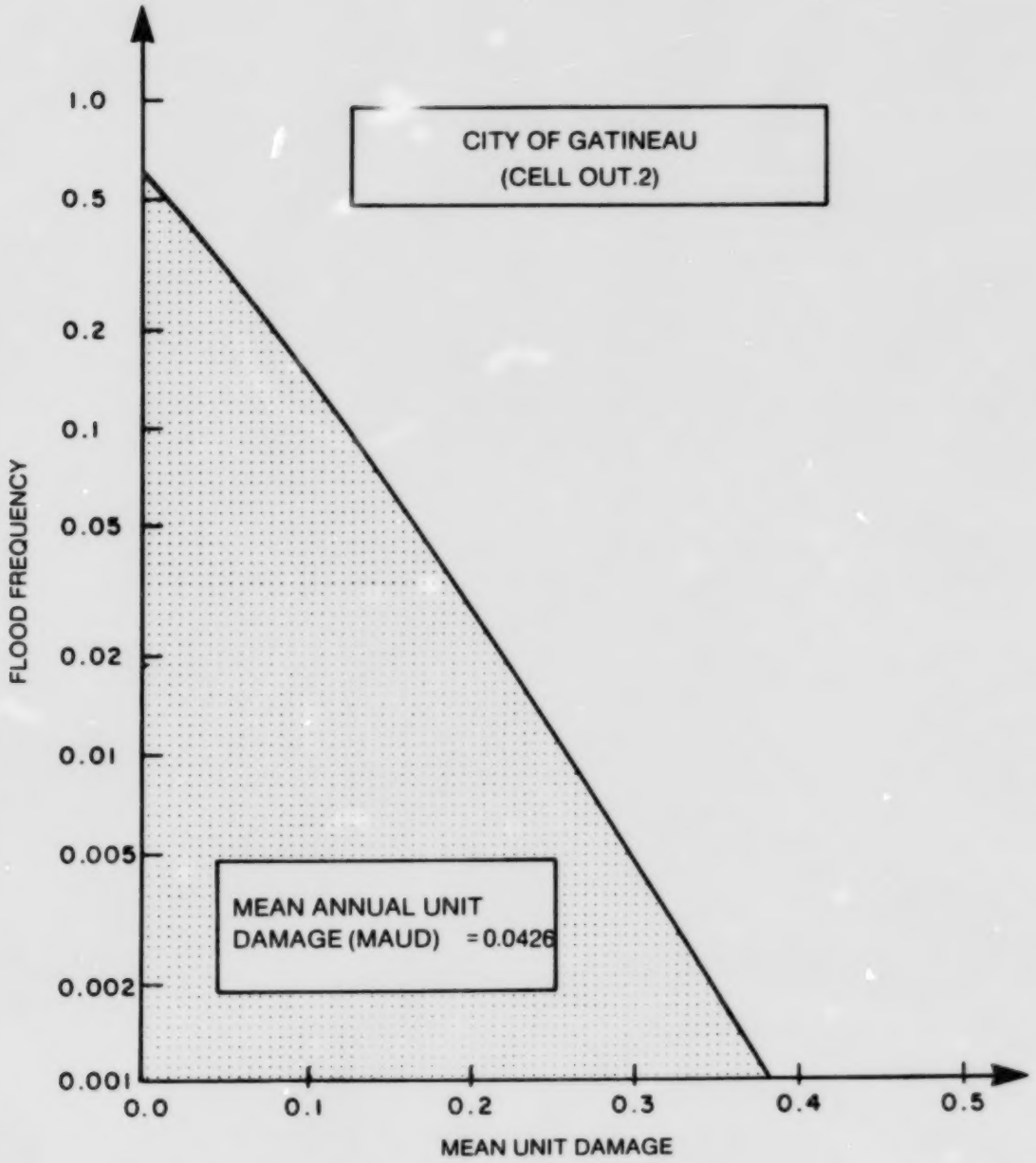

Figure 3.3 Flood frequency/mean unit damage relation (cell OUT.2).

3.4 Mean Percentage of Residences Affected

As previously mentioned, the flood frequency/number of residences affected relation is obtained from the depth of water/flood frequency and number of residences/elevation relations.

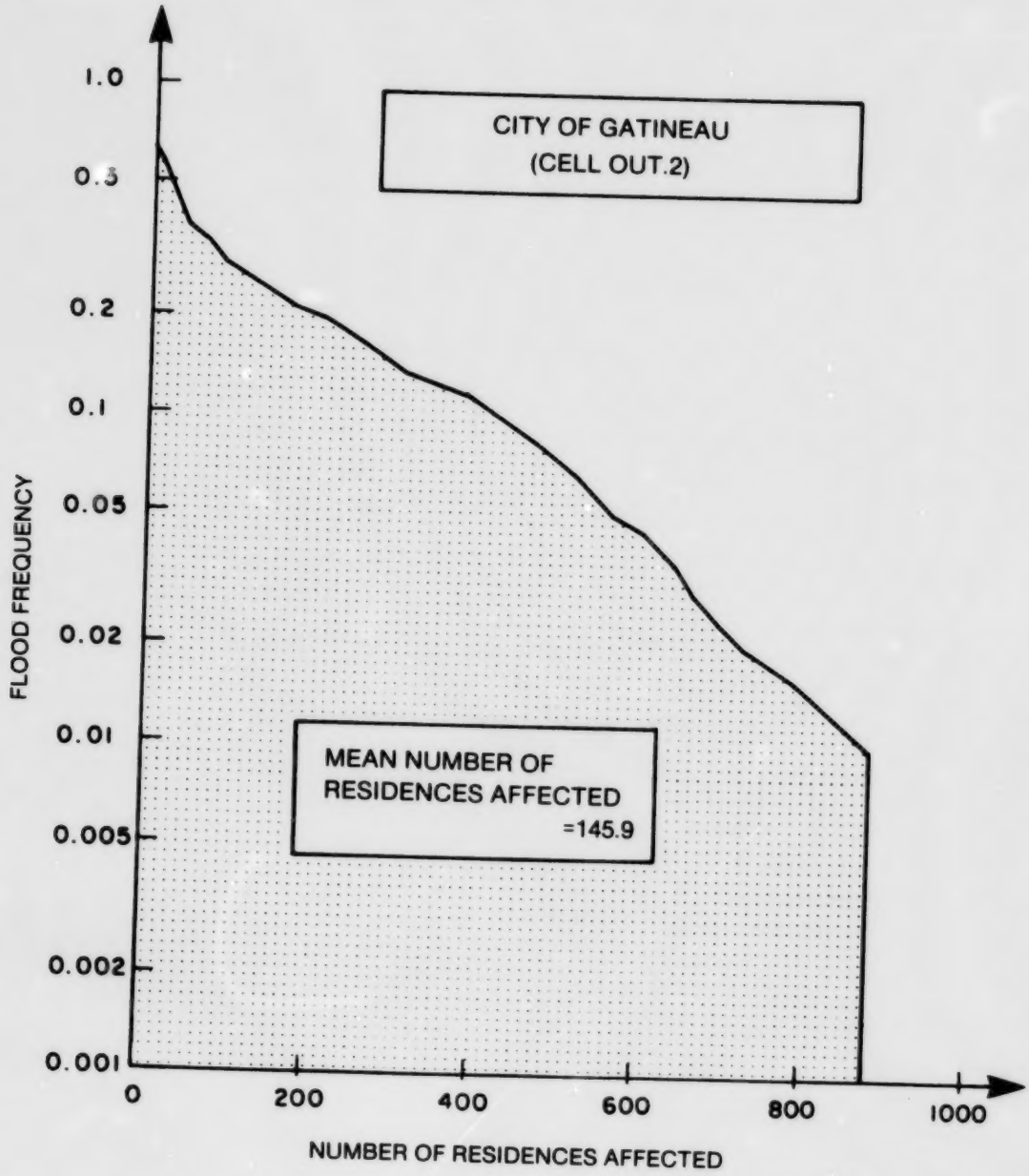

Figure 3.4 Flood frequency/number of residences affected relation (cell OUT.2).

Knowing this relation, we determined through nonlinear regression the third-degree equation most closely approximating it. Then we integrated this equation and obtained the variable MPR according to equation (3.3). Analysis of the results presented in Table 3.2 shows that for cell OUT.2, 16.6% of the residences located in the flood plains in this unit are affected by floods on average once a year (Fig. 3.4).

Economic Assessment of Program

This chapter presents an economic assessment of the zoning program in the Outaouais region. First, the benefits generated by this program are calculated. Then the advantages and disadvantages for those involved in the program (federal and provincial governments, municipalities, and individuals) are examined. Finally, to assess the soundness of the results, a sensitivity analysis is conducted on the various economic variables used to calculate damage.

4.1 Calculation of Benefits

The zoning program is a means of controlling the future development of flood plains to eliminate the monetary losses which their increased occupation would entail. Figure 4.1 shows how benefits are obtained, namely, by the difference between mean annual damage under the unregulated system and under the regulated system (residual damages).

The mean annual damages, calculated by means of equation (3.6) from the previous chapter, are annual amounts. These damages may be actualized at the start of the period, yielding the following current value of total damages:

$$TD = \sum_{i=1}^{n} MAD_i * (1 + r)^{-i} \qquad (4.1)$$

where TD is total damage expressed in constant actualized dollars at the start of the period (i = 0), r is the actualization rate, and n is the project lifetime.

The start of the period is 1977, the year the zoning program was introduced. Two actualization rates (r) were used: 5% and 10%. The 5% actualization rate corresponds to the real long-term interest and is used to evaluate the program from

the collective point of view, while the 10% figure incorporates the public decision-making authorities' budgetary constraints. The program is evaluated on the basis of a project length of 30 years.

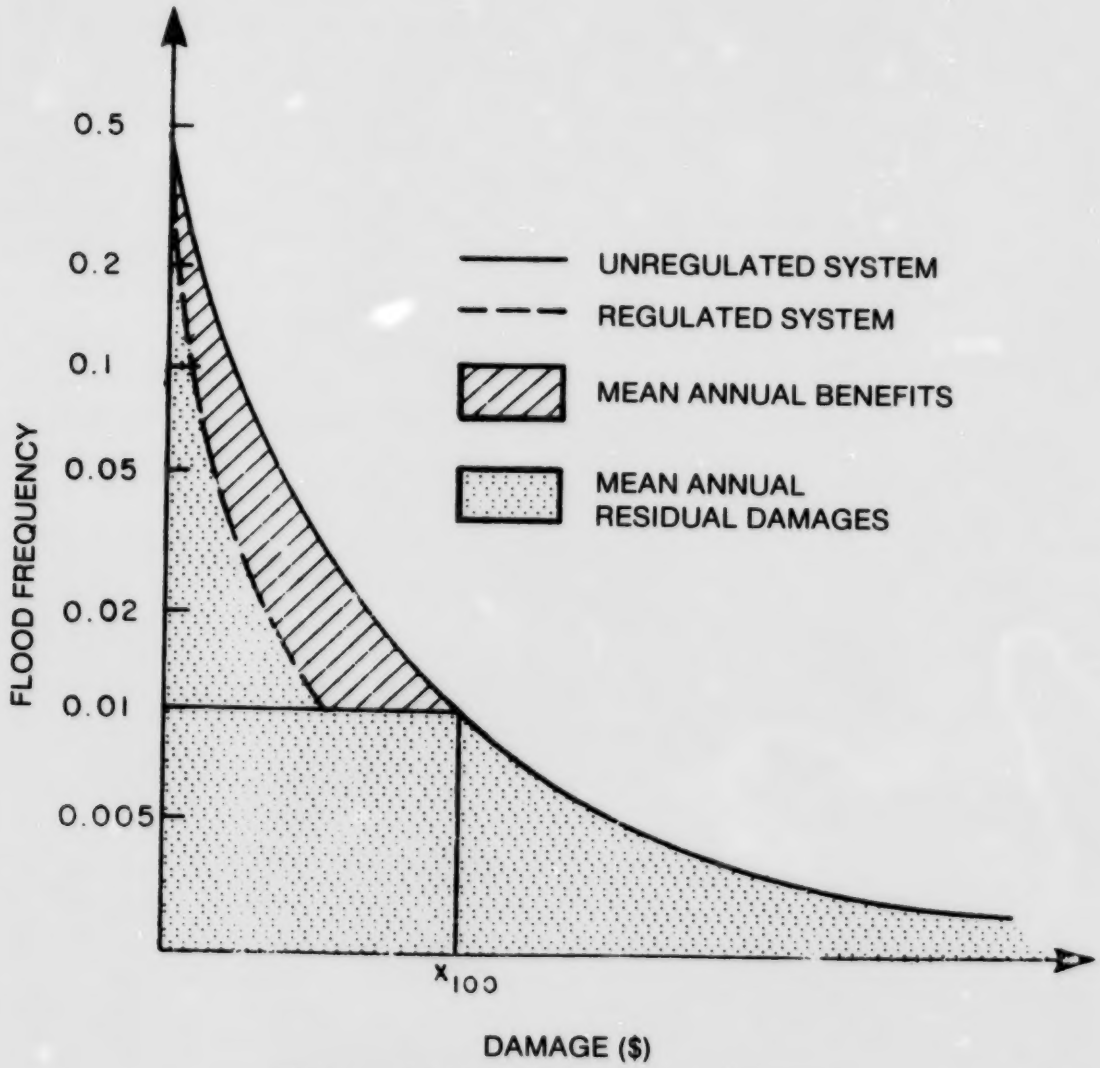

Figure 4.1 Flood frequency/damage relation (zoning program).

Table 4.1 shows total damage (TD) that would be caused in the base and regulated systems according to the different scenarios constructed on the actualization rates (r), the rates of increase in the mean value of the residences

(ψ), and the rates of increase in the number of residences (τ). Note that in the regulated system, homeowners residing in the area before program implementation will still be likely to sustain damage in the future.

Table 4.1 Value of Total Damage (TD) in 1977 Dollars (x 1000)

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 West Hull	GAT.2 La Pêche (south)	GAT.3 La Pêche (north)	Total ORC
Regulated system (r = 5%)	199	2483	317	248	384	24	3655
Unregulated system (scenario A) (r = 5%)	211	2861	362	256	406	26	4122
Unregulated system (scenario B) (r = 5%)	209	2833	362	263	406	26	4099
Unregulated system (scenario C) (r = 5%)	220	2778	355	280	430	27	4090
Unregulated system (scenario D) (R = 5%)	483	5274	654	465	808	51	7735
Regulated system	136	1646	208	159	254	16	2419
Unregulated system (scenario A) (r = 10%)	142	1829	230	163	265	17	2646
Unregulated system (scenario B) (r = 10%)	142	1815	230	167	265	17	2636
Unregulated system (scenario C) (r = 10%)	147	1789	227	174	276	17	2630
Unregulated system (scenario D) (r = 10%)	265	2892	358	255	443	28	4241

Table 4.2 presents total benefits (TB) from the zoning program for all the groups involved, according to the different scenarios. These benefits are equal to the decline in damage under the regulated system compared with the base system.

Table 4.2 Value of Total Benefits (TB) in 1977 dollars (x 1000)

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 West Hull	GAT.2 La Pêche (south)	GAT.3 La Pêche (north)	Total ORC
(Scenario A) (r = 5%)	12	378	45	8	22	2	467
(Scenario B) (r = 5%)	10	350	45	15	22	2	444
(Scenario C) (r = 5%)	21	295	38	32	46	3	435
(Scenario D) (r = 5%)	284	2791	337	217	424	27	4080
(Scenario A) (r = 10%)	6	183	22	4	11	1	227
(Scenario B) (r = 10%)	6	169	22	8	11	1	217
(Scenario C) (r = 10%)	11	143	19	15	22	1	211
(Scenario D) (r = 10%)	129	1246	150	96	189	12	1822

Note the significant effect of the actualization rate on the evaluation of program results. A 10% rate cuts the total benefits for the Outaouais region by approximately one half, compared with the 5% rate. This result varies according to the different scenarios performed on τ and Ψ. In fact, scenarios A, B and C give different results from one economic cell to another, but these differences disappear over the region as a whole.

The value of benefits under these scenarios is $440 000 (1977 dollars), with a 5% actualization rate, and $220 000 (1977 dollars) with a 10% actualization rate..

Scenario D, which calls for a higher rate of increase in the mean value of residences, yields benefits of $4 080 000 (1977 dollars) and $1 822 000 (1977 dollars), using actualization rates of 5% and 10%, respectively. There is thus a factor of 9 between benefits under scenarios A, B and C and those under D.

4.2 Benefit-Cost Analysis

We can now examine the benefits and costs for three categories of groups involved in the system: the federal and provincial governments, municipalities, and private homeowners whose property lies in the flood plains.

Before performing this analysis, however, it would be useful to mention the current distribution of losses caused by flooding. After major floods, i.e., those generally recurring less than once every ten years, governments may compensate homeowners who have sustained damage. But this criterion is not stable, and depends on the economic and political situation at the time. Moreover, compensation generally does not cover the total damage. The federal government will intervene only if the total damage corresponds to more than $1 per inhabitant in the province in question. After more frequently occurring floods, the homeowners themselves must pay the costs of repairing and cleaning up their property. It should be added that at no time do governments compensate owners of secondary residences.

(a) Federal and Provincial Governments

The governments have spent certain sums on the creation of maps identifying flood-prone areas in the Outaouais region. A budget of $6.0 million has been set aside for mapping 185 Quebec municipalities. Nonetheless, there are differences from region to region. For the six cities, towns and municipalities mapped for the Outaouais region, we have assessed the credits allocated at $202 000 (1977 dollars). In the future, however, the governments will not have to compensate individuals who have built residences in the flood plains and who sustain property

damage during a major flood. Thus, in terms of the non-increase of compensation payable, they will reap certain economic benefits from the implementation of this program. These economic benefits may be assessed by means of the following calculation.

It is assumed that the governments provide compensation for 45% of the damage incurred in the event of floods recurring less than once every ten years. This assumption corresponds to the amounts actually paid by the governments for the 1976 flood.

Only floods with return periods between 10 and 100 years are considered. On the one hand, floods recurring less than once every 100 years would be exceptional and would call for a different compensation percentage. On the other hand, the zoning program applies only to 0 to 100-year return periods.

For a unit built in this area and affected by a flood recurring every ten years or less, the mean annual unit compensation from governments (MAUCG) is given by:

$$MAUCG = 0.45 * \int_{0.01}^{0.10} MUD(\rho)\, d\rho \qquad (4.2)$$

where MUD (ρ) is generated from equation (3.11).

For the region as a whole, when there is no zoning program, the mathematical expectation of total actualized compensation from governments ($TACG_{nr}$) is written as follows:

$$TACG_{nr} = \sum_{t=1}^{30} MAUCG * MPR * KT_o * \left[\frac{(1 + \Psi) * (1 - \Psi)}{(1 + r)}\right]^t \qquad (4.3)$$

Where the zoning program is implemented, the corresponding expression ($TACG_r$) is as follows:

$$TACG_{nr} = \sum_{t=1}^{30} MAUCG * MPR * KT_o * \left[\frac{(1 + \Psi)}{(1 + r)}\right]^t \qquad (4.4)$$

The value of MPR is the same in each case, since the zoning program has no effect on the spatial distribution of the existing units. Moreover, it is assumed that as it developed the regulated system would maintain this distribution.

For the regulated system in the low-flow channel zone, the program allows new units, but these must be built in such a way that floods recurring more than once every 100 years do not affect them. Consequently, these structures may be considered to lie outside the low-flow zone. The only difference between the regulated and unregulated systems remains the value of the rate of increase (τ) in the number of residences.

The expression giving the governments' total actualized benefit (GTAB), obtained by savings on compensation payments, may be written as follows:

$$GTAB = MAUCG * MPR * KT_0 * \left[\frac{1 - (1 + r)^{-30} * (1 + \tau + \Psi + \tau\Psi)^{30}}{r - (\tau + \Psi + \tau\Psi)} - \frac{1 - (1 + r)^{-30} * (1 + \Psi)^{30}}{(r - \Psi)}\right] \quad (4.5)$$

Table 4.3 gives the values for GTAB according to the different scenarios constructed on the actualization rate ($r = 5\%$; $r = 10\%$), the rate of increase in the number of residences (τ), and the rate of increase in the mean value of residences (Ψ). In the most pessimistic scenario for the program ($r = 10\%$, τ regionalized - hypothesis B -, Ψ differentiated by municipality), we obtain \$32 800 (1977 dollars) for GTAB. In the most optimistic scenario ($r = 5\%$, $\tau = 1.2\%$, $\Psi = 2.5\%$), we obtain \$182 500 (1977 dollars) for GTAB.

Whichever scenario is chosen, the benefit-cost ratio for governments is less than 1, since the cost of the program is \$202 000 (1977 dollars).

(b) Municipalities

The municipalities have to bear the cost of implementing and administrating this program. These costs depend on different regional economic factors, such as whether the administrative structure is already in place, existing economic activities in the mapped areas, and their potential for development. In the case

Table 4.3 Value of Benefits by Group Involved, in 1977 dollars (x 1000)

Scenario	Governments (GTAB)	Owners of vacant land	City, town or municipality	Total
A (r = 5%)	73	394	0	467
B (r = 5%)	69.6	374.4	0	444
C (r = 5%)	69.5	305.5	0	435
D (r = 5%)	182.5	3897.5	0	4080
A (r = 10%)	35.4	191.6	0	227
B (r = 10%)	32.8	184.2	0	217
C (r = 10%)	33.8	177.2	0	211
D (r = 10%)	75.7	1746.3	0	1822

of the Outaouais region, the managers had to develop the regulations and have them enforced by the different municipalities. Subsequently, the region studied certain lawsuits, but it has not, thus far at least, been prosecuted. It has also had to resist strong pressure from certain project promoters. The costs of these activities have not been determined, but they are real nonetheless. We can state, however, that in the case of the Outaouais region these costs have not been very high to date. Finally, we should recall that in our assumption we relocated residences within the region, so there was no loss in terms of real estate taxes.

On the other hand, the benefits reaped by the municipalities are minor, since they are not involved in the system of compensation for damage in the residential sector.

If we limit ourselves to the residential sector alone, the benefits and costs for the municipalities are close to zero. Consequently, they are quite neutral with respect to the application of the zoning program.

(c) Owners of Private Property on Flood Plains

Owners may be divided into two groups:

(i) Owners of land located on flood plains whose residences had already been built in 1977. These owners, because they had already built their homes, are not affected by the zoning program.

(ii) Owners of vacant lots. Following the application of the zoning regulation, owners of vacant lots are forbidden to build on such lots any structures that are vulnerable to flooding.

For this reason, the value of their land will certainly decrease.

In 1977, the ORC municipal assessment department counted 44 900 residences and 22 700 vacant lots on its territory, the latter being assessed at that time at 74 million (1977 dollars). Supposing the same proportion of residences to vacant lots in the flood plains, there were then 617 vacant lots, assessed at $2.0 million (1977 dollars).

From this total we must subtract the number of vacant lots whose value will not decrease following the application of the zoning regulation. Vacant lots located in the low-flow channel zones will not be affected by the zoning program, since it allows their owners to build homes, provided they protect them. In addition, some of the vacant lots are also designated under the Act to preserve agricultural land and will not decrease in value. Only the unzoned lots in the high-flow channel zones are affected by the zoning program and will decrease in value. We have calculated that 360 vacant lots, for a value of $1.2 million (1977 dollars), lie within the high-flow channel zones and are not affected by agricultural zoning.

It was not possible to determine accurately the extent of the decline in value of these vacant lots, since this would have required a case-by-case examination of the devaluation of these properties since 1977. The size of this loss depends on their geographical location (urban, rural or agricultural) and on certain environmental factors surrounding the land in question.

On the other hand, the zoning program provides these owners with certain benefits: in the years to come, they will not have to pay to repair flood damage to their dwellings for which they will not be compensated by the governments, since they will have to build their residences where the risk of flooding is almost nil. (If residents have constructed dwellings in areas prone to flooding, they will not receive compensation under this program.) These benefits are obtained by subtracting the governments' gains from the benefits calculated.

The benefits to owners of vacant property are listed in Table 4.3. These benefits will be cancelled out for these parties if

(1) the value of the land decreases by some 16% when scenarios A, B and C and a 10% actualization rate are used;

(2) the value of the land decreases by some 30% when scenarios A, B and C and a 5% actualization rate are used.

If scenario D is chosen the owners will still benefit, whatever the decline in value of their land.

(d) Benefit-Cost Ratio

After calculating the benefits and costs associated with the flood plain zoning program in the Outaouais region, we may determine the benefit-cost ratio by group involved and by scenario contemplated. Table 4.4 presents the results obtained.

It can be seen that the program is cost-effective for all the groups involved under all the scenarios retained with respect to actualization rates, rates of

Table 4.4 Benefit-Cost Ratios

Scenario	Fed.-prov. governments	Owners of vacant land	City, town or municipality	Total
A (r = 5%)	0.36	>1*	Neutral	>1‡
B (r = 5%)	0.34	>1*	Neutral	>1‡
C (r = 5%)	0.34	>1*	Neutral	>1‡
D (r = 5%)	0.90	>1	Neutral	>14.45
A (r = 10%)	0.18	>1†	Neutral	>1§
B (r = 10%)	0.16	>1†	Neutral	>1§
C (r = 10%)	0.17	>1†	Neutral	>1§
D (r = 10%)	0.37	>1	Neutral	>3.27

*If the decrease in value of vacant land is less than 30%.
†If the decrease in value of vacant land is less than 16%.
‡If the decrease in value of vacant land is less than 38%.
§If the decrease in value of vacant land is less than 19%.

increase in the mean value of residences, and rates of increase in the number of these residences (scenarios A, B, C and D). Indeed, a significant decline (more than 19%) in the value of the vacant land would be required for the benefit-cost ratio to be less than 1 in the least favourable scenario (scenario C with a 10% actualization rate).

Nonetheless, when we consider the distribution of benefits among the different parties involved and deduce the benefit-cost ratios from this, we see that the program is never cost-effective strictly from the governments' point of view. It should be noted that this conclusion was obtained after a calculation of

financial viability applied to governments. At the other extreme, a calculation of social profitability must incorporate the benefits to the other parties involved, and its benefit-cost ratio is that presented in the last column of Table 4.4. It is generally greater than 1.

The main beneficiaries are, in fact, present and future owners of vacant land. This does not mean that present owners may be handicapped by the zoning program in real estate dealings. Indeed, the market may undervalue the costs associated with a random phenomenon such as flooding. The market's failure to convey this type of information translates into prices higher than the real value of the land. This may give rise to transfers between present and future owners. Our approach does not take into account these interpersonal transfers, which are compensated for in the program assessment.

The municipalities are responsible for applying the program without being the main parties involved in terms of benefits and costs. This may explain why this type of program has not spread to other regions.

4.3 Soundness of Results

In this section the study's findings are reviewed in light of the hypotheses constructed on the main parameters.

The study is limited to benefits and costs in the residential sector alone, and stresses compensation paid to homeowners. The municipalities also have to defray the cost of road cleaning and civil protection in the event of flooding. The federal and provincial governments share these costs, which this study has not specifically taken into account. Nonetheless, the program would affect only the costs associated with changes in highway infrastructure that were required for new residences. And this certainly represents minor sums, owing to the semi-rural character of the region, the presence of existing infrastructure, and the low probability that the high-flow channel zone would be chosen for intensive residential construction in the event of non-zoning. It can therefore be claimed that this will not change the municipalities' attitude toward the program.

Moreover, the flood plain zoning program does not affect agricultural activities, and the benefits of location are not decisive factors for the other

economic activities. It can therefore be concluded that their exclusion from the assessment does not affect the conclusions.

The hydroeconomic model uses a damage/depth of water relation which was developed with data from the Richelieu region of Quebec. Given the similarity of structures and their contents, there is certainly little bias in using this relation in the Outaouais region. The relation calibrated for 1976, however, may underestimate the long-term damages owing to the evolution of the contents of the residences. Scenario D, in which an annual 2.5% increase in the mean value of residences is used, corrects this bias.

Scenarios A, B and C correspond to extrapolations for 1977-1985, in which we have the following:

(1) Projected the rate of increase observed in the number (τ) and mean value (Ψ) of residences in each city, town, or municipality (scenario A);

(2) Differentiated urban and rural areas for the projection of the rate of increase in the number of residences (τ) (scenario B);

(3) Retained a standard rate of increase in the number of residences (τ) for the entire region (scenario C).

As can be seen in Tables 4.3 and 4.4, there is very little difference in the results with these three scenarios. This conclusion was predictable, given the size of cell OUT.2 (city of Gatineau). For these scenarios, the program remains cost-effective in the aggregate, even with decreases in the value of vacant land of some 19% (10% actualization rate) and 38% (5% actualization rate).

Scenario D, which calls for a rate of increase in the mean value of residences of some 2.5% annually, seems to us the most plausible scenario in the long term. The results under this scenario show that the program is collectively cost-effective, whatever happens to the value of the land. Nonetheless, as for scenarios A, B and C, there is no financial viability for the provincial and federal governments. The benefit-cost ratio is 0.37 for scenario D, with a 10% actualization rate. An actualization rate of 5% brings this ratio to only 0.90.

Conclusion

As our findings indicate, this type of program would not be financially viable for the public agencies involved (federal and provincial governments, and municipalities). This conclusion could, however, be revised if mapping costs were spread over other territorial development programs.

In addition, even if homeowners benefit considerably from this type of program in the long term, they may be against it in the short term owing to the market's inability to convey all the information. The risk of flooding is not perfectly capitalized in the current value of residences.

It is thus clear that this type of program can only be implemented when the public bodies involved adopt an interventionist policy.

References

CRAR. 1977. Evaluation des dommages causés par les inondations en 1976 à divers niveaux d'élévation des eaux de la rivière Richelieu et de la baie Missisquoi, Haut-Richelieu, Québec. University of Sherbrooke, 210 pp.

Desjardins, M.-A., D. Tessier, C. Gignac, and J. Rousselle. 1984. Manuel d'utilisation du modèle stochastique des excédances. Rapport GREMU-84/02, 82 pp.

El-Jabi, N. 1980. Approche systématique pour l'aménagement des plaines inondables. Doctoral Thesis. Ecole Polytechnique de Montréal, 263 pp.

El-Jabi, N., D. Richard, and J. Rousselle. 1981. Aspect financier du processus crue-dommage. Eau du Québec, 14(4): 345-51.

El-Jabi, N., F. Ashkar, D. Richard, and J. Rousselle. 1982a. Analyse stochastique des débits de crue pour la province de Québec. Report to the Quebec Department of the Environment, 615 pp.

El-Jabi, N., J. Rousselle, F. Brière, and D. Leblanc. 1982b. Flood plain management - hydro-economic analysis. Sci. Ser. No. 127, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa, 120 pp.

Environment Canada. 1983. Canada Water Year Book, 1981-1982, Water and the Economy. Minister of Supply and Services Canada, 105 pp.

Harvey, B. 1979. Politique d'aménagement rationnel des zones d'inondation. Eau du Québec, 12(3): 205-8.

Ottawa River Regulation Planning Committee. 1980. Final Report, 104 pp.

Ouellette, P., N. El-Jabi, and J. Rousselle. 1985. Application of extreme value theory to flood damage. ASCE, J. WRPM, 111(4): 467-77.

Ouellette, P., N. El-Jabi, and J. Rousselle. 1986. The analysis of flood damage time series. Sci. Ser. No. 146, Inland Waters Directorate, Environment Canada, Ottawa, 32 pp.

Richard, D. 1981. Analyse comparative des modes de contrôle des inondations. Master's Thesis, Ecole Polytechnique de Montréal, 266 pp.

Todorovic, P., and J. Rousselle. 1971. Some problems of flood analysis. Water Resour. Res., 7(5): 1144-50.

Environnement Canada Environment Canada

Évaluation économique de l'intervention de zonage des plaines inondables dans la région de l'Outaouais

Pierre Morissette*, Pierre Ouellette†, Nassir El-Jabi‡, Daniel Leblanc§ et Jean Rousselle*

* Département de génie civil, École Polytechnique de Montréal
† Centre de Recherche et Développement en économique et Département de sciences économiques, Université de Montréal
‡ École de Génie, Université de Moncton
§ Département de génie industriel, École Polytechnique de Montréal

ÉTUDE N° 161, SÉRIE SCIENTIFIQUE

DIRECTION GÉNÉRALE DES EAUX INTÉRIEURES
RÉGION DU QUÉBEC
DIRECTION DE LA PLANIFICATION ET DE LA GESTION (EAUX)
SAINTE-FOY (QUÉBEC) 1988

(Available in English on request)

Publié avec l'autorisation
du ministre de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988

N° de cat. En 36-502/161F

ISBN 0-662-95216-2

Table des matières

Page

RÉSUMÉ v

ABSTRACT vi

LISTE DES SYMBOLES vii

REMERCIEMENTS ix

1. INTRODUCTION 1

2. INTERVENTION DE ZONAGE 4
   2.1 Programmes de cartographie et de zonage 4
   2.2 Zone d'étude 5
   2.3 Caractéristiques hydrologiques 9
   2.4 Stock de capital physique 11

3. ESTIMATION DES DOMMAGES 16
   3.1 Équation du dommage moyen annuel 16
   3.2 Relations de base 18
   3.3 Dommage unitaire moyen annuel 21
   3.4 Pourcentage moyen de résidences affectées 25

4. ÉVALUATION ÉCONOMIQUE DE L'INTERVENTION 28
   4.1 Calcul des bénéfices 28
   4.2 Analyse bénéfices-coûts 32
   4.3 Robustesse des résultats 41

5. CONCLUSION 43

RÉFÉRENCES 44

Tableaux

2.1 Indemnités versées lors des crues de 1974 et de 1976 9

2.2 Nombre (NR_0) et valeur moyenne (VMR_0) des résidences par cellule hydroéconomique en 1977 12

2.3 Taux moyens d'augmentation du nombre (τ) et de la valeur moyenne (ψ) des résidences (%) 14

3.1 Caractéristiques des stations hydrométriques 21

Tableaux (suite)

Page

3.2 Valeur des variables pour l'estimation des dommages 22

3.3 Hauteurs de crues et dommages unitaires moyens (cellule OUT.2) 22

4.1 Valeur des dommages totaux (DT) en dollars de 1977 (x 1000) 31

4.2 Valeur des bénéfices totaux (BT) en dollars de 1977 (x 1000) 32

4.3 Valeur des bénéfices selon les intervenants en dollars de 1977 (x 1000) 36

4.4 Ratios bénéfices-coûts 39

Illustrations

Figure 2.1 Le Québec et la Communauté régionale de l'Outaouais 6

Figure 2.2 Configuration géographique de la Communauté régionale de l'Outaouais 7

Figure 2.3 Représentation typique d'une cellule hydroéconomique 8

Figure 3.1 Relation hauteur de submersion - dommage unitaire 20

Figure 3.2 Représentation d'une hauteur de crue 23

Figure 3.3 Relation fréquence de dépassement - dommage unitaire moyen (cellule OUT.2) 25

Figure 3.4 Relation fréquence de dépassement - nombre de résidences affectees (cellule OUT.2) 26

Figure 4.1 Relation fréquence de dépassement - dommages (intervention de zonage) 29

Résumé

Parmi toutes les mesures disponibles pour diminuer les pertes causées par les inondations, le zonage en est une qui permet de limiter l'accroissement des activités économiques dans certaines parties des plaines inondables. Cette étude a pour but d'évaluer la rentabilité économique du programme de zonage des plaines inondables appliqué par la Communauté régionale de l'Outaouais à la suite de la désignation de ses zones inondables dans le cadre du programme fédéral-provincial de cartographie des risques d'inondation.

Pour réaliser cet objectif, on utilisera un modèle hydroéconomique permettant d'estimer les dommages unitaires moyens résultant d'une crue. Ensuite, on appliquera le modèle des valeurs extrêmes à ces dommages, compte tenu de la similitude qui existe entre les séries chronologiques des débits de crues et des dommages unitaires moyens. Sera également évalué, le stock de capital économique présent dans les plaines inondables, ainsi que sa répartition spatiale et son évolution temporelle. À l'aide de ces données, on calculera les dommages moyens annuels des systèmes régularisé et non régularisé afin de déduire les coûts et les bénéfices actualisés du programme.

Globalement, le programme s'avère rentable, son ratio avantages-coûts étant plus grand que 1. Cependant, l'étude des effets sur trois types d'intervenants du système, soit les gouvernements, les municipalités et les particuliers, permet d'établir que le ratio avantages-coûts pour les gouvernements est généralement inférieur à 1. Les principaux bénéficiaires sont les propriétaires fonciers qui, pour des raisons d'imperfection des marchés n'ont pas d'intérêt immédiat à l'implantation de tels programmes. Il est donc clair que ce type de programme ne peut être implanté que dans l'optique d'une politique tutélaire des intervenants publics.

Résumé

Parmi toutes les mesures disponibles pour diminuer les pertes causées par les inondations, le zonage en est une qui permet de limiter l'accroissement des activités économiques dans certaines parties des plaines inondables. Cette étude a pour but d'évaluer la rentabilité économique du programme de zonage des plaines inondables appliqué par la Communauté régionale de l'Outaouais à la suite de la désignation de ses zones inondables dans le cadre du programme fédéral-provincial de cartographie des risques d'inondation.

Pour réaliser cet objectif, on utilisera un modèle hydroéconomique permettant d'estimer les dommages unitaires moyens résultant d'une crue. Ensuite, on appliquera le modèle des valeurs extrêmes à ces dommages, compte tenu de la similitude qui existe entre les séries chronologiques des débits de crues et des dommages unitaires moyens. Sera également évalué, le stock de capital économique présent dans les plaines inondables, ainsi que sa répartition spatiale et son évolution temporelle. A l'aide de ces données, on calculera les dommages moyens annuels des systèmes régularisé et non régularisé afin de déduire les coûts et les bénéfices actualisés du programme.

Globalement, le programme s'avère rentable son ratio avantages-coûts étant plus grand que 1. Cependant, l'étude des effets sur trois types d'intervenants du système, soit les gouvernements, les municipalités et les particuliers, permet d'établir que le ratio avantages-coûts pour les gouvernements est généralement inférieur à 1. Les principaux bénéficiaires sont les propriétaires fonciers qui, pour des raisons d'imperfection des marchés n'ont pas d'intérêt immédiat à l'implantation de tels programmes. Il est clair que ce type de programme ne peut être implanté que dans l'optique d'une politique tutélaire des intervenants publics.

Liste des symboles

BT	Bénéfice total exprimé en dollars constants en début de période
BTAG	Bénéfice total actualisé des gouvernements
d	Variable représentant les dommages physiques et non physiques
DMA	Dommage moyen annuel
DT	Dommage total exprimé en dollars constants du début de période
DUM	Dommage unitaire moyen
DUMA	Dommage unitaire moyen annuel
$F(z_j)$	Fonction du dommage unitaire causé à une unité économique j par une hauteur de submersion z_j
H(x)	Fonction de répartition de la valeur des dommages unitaires moyens
K	Variable représentant l'ensemble du capital physique touché par la crue
KR_i	Valeur des résidences affectées par la crue durant l'année i
KTR_i	Valeur totale des résidences durant l'année i
n	Durée de vie de l'intervention
N	Nombre d'unités économiques affectées par une crue
NR	Nombre total de résidences situées dans les plaines inondables
PMR	Pourcentage moyen des résidences affectées annuellement par les crues
r	Taux d'actualisation
RTAG	Remboursement total actualisé des gouvernements
RUMAG	Remboursement unitaire moyen annuel des gouvernements
VMR	Valeur moyenne des résidences
z	Hauteur de submersion

α, β	Coefficients de la fonction du dommage unitaire
γ	Paramètre de la fonction de distribution exponentielle des valeurs des dommages unitaires moyens
$\Lambda(t)$	Nombre moyen d'événements dommageables dans l'intervalle de temps $(0,t]$
$\rho(x)$	Fréquence de dépassement du dommage unitaire moyen
τ	Taux moyen d'augmentation annuel du nombre de résidences situées dans les plaines inondables
$\varphi(x)$	Relation entre la fréquence de dépassement d'une crue et le nombre de résidences affectées par cette crue
ψ	Taux moyen d'accroissement annuel de la valeur moyenne des résidences situées dans les plaines inondables

Remerciements

Cette étude a été réalisée au Département de génie civil de l'École Polytechnique de Montréal par le Groupe de recherche sur l'eau en milieu urbain (GREMU), grâce à une subvention de recherche d'Environnement Canada.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à Jean-Yves Pelletier d'Environnement Canada, Pierre Larouche du ministère de l'Environnement du Québec et Jacques Perrier et Guy Martineau de la Communauté régionale de l'Outaouais pour leur collaboration et leurs précieux conseils.

Introduction

D'une année à l'autre, les inondations continuent de représenter pour l'humanité un problème majeur et de grande envergure par l'importance des sommes d'argent qui sont consacrées pour la protection des populations impliquées, le contrôle des crues et la restauration des zones sinistrées.

Historiquement, les civilisations se sont installées le long des rives des cours d'eau pour bénéficier des avantages que leur procurait la proximité de l'eau. Par la suite, le processus d'urbanisation s'est implanté au sein des communautés et a engendré une prolifération des activités économiques dans ces régions. Ces communautés s'exposaient ainsi aux risques d'inondation. Face à ce danger, elles ont mis sur pied des programmes de protection ou de contrôle des crues. Au fil des ans, ces programmes se sont multipliés et contrairement à ce que l'on espérait, les dommages n'ont cessé de croître.

Au Canada, les inondations constituent un phénomène qui a de l'ampleur : chaque année, au moins 200 localités sont aux prises avec les inondations (Environnement Canada, 1983). Bien que les différents ordres de gouvernement aient dépensé des sommes considérables pour la construction d'ouvrages hydrauliques et pour le versement d'indemnités, des pertes importantes sont encore enregistrées et les risques de désastre continuent d'augmenter. Ces raisons ont incité les gouvernements, tant fédéral que provinciaux, à adopter une politique de lutte contre les inondations. Cette lutte comporte deux objectifs : à court terme, enrayer la progression des dommages causés par les inondations; à long terme, diminuer, voire même éliminer ces dommages.

Afin de donner suite à ces objectifs, le gouvernement fédéral et celui du Québec ont signé, le 4 octobre 1976, la convention sur le programme de cartographie des plaines inondables. Par la publication de cartes topographiques en couleur, ce programme cherchait à identifier les zones propices aux inondations et à réduire l'implantation de nouvelles constructions vulnérables. Dès le mois d'avril 1977, la Communauté régionale de l'Outaouais a intégré dans son plan d'aménagement du territoire une politique restrictive relativement à la construction dans les zones ainsi désignées.

Dans ce contexte, l'objectif de cette recherche est de vérifier, à l'aide d'une analyse bénéfices-coûts, l'impact économique de ce programme appliqué dans la région de l'Outaouais. Par cette analyse, on mesurera la rentabilité économique du programme à trois niveaux différents : gouvernements fédéral et provincial, municipalités, propriétaires privés des plaines inondables.

On évaluera les coûts associés à l'implantation et à la gestion du programme de cartographie et de zonage. Les bénéfices seront mesurés seulement en fonction de la réduction des dommages relatifs au secteur résidentiel des régions cartographiées. Ils seront alors obtenus par la différence entre les dommages moyens annuels du système de base (non régularisé) et du système régularisé (Richard, 1981). Le terme «système de base» sera employé pour définir l'ensemble des conditions hydrologiques, hydrauliques et économiques qui auraient prévalu si l'intervention de zonage n'avait pas été appliquée. Le terme «système régularisé» servira à définir les conditions existant à la suite de cette intervention.

Pour l'estimation des dommages de ces deux systèmes, on utilisera un modèle hydroéconomique permettant de quantifier les dommages associés à une certaine crue. Cette méthodologie est basée essentiellement sur deux types de variables : les variables naturelles aléatoires (débit, hauteur de submersion, etc.) et les variables déterministes (valeurs du stock de capital physique de la région étudiée) (El-Jabi

et al., 1982b). Par cette méthodologie, on associera à chaque crue une estimation du dommage unitaire moyen causé par cette crue.

En faisant l'inventaire des crues à partir d'une longue période d'observations, on pourra générer un processus stochastique discret formé par la série de dommages unitaires moyens. Cette série de base sera analysée à l'aide de la théorie des valeurs extrêmes. Ouellette et al. (1986) ont démontré qu'il y a similitude entre une crue de hauteur d'eau donnée et le dommage unitaire moyen qui en découle. De ce fait, le modèle stochastique des valeurs extrêmes peut être appliqué à la série des dommages unitaires moyens. Le développement détaillé de ce modèle a été fait par Todorovic et Rousselle (1971) et a été repris par la suite par plusieurs autres auteurs. Il ne sera donc pas utile de reprendre ce développement dans cette étude.

Intervention de zonage

Après les inondations catastrophiques de 1974 et de 1976 qui ont occasionné des dommages de plus de 50 millions de dollars au Québec seulement, les gouvernements fédéral et provinciaux ont privilégié le zonage des plaines inondables pour rendre à ces régions leur vocation naturelle, c'est-à-dire l'envahissement périodique par les eaux sans causer de dommages à la propriété publique ou privée (Harvey, 1979). La Communauté régionale de l'Outaouais (ci-après CRO) a adopté rapidement, dès le mois d'avril 1977, un règlement sur les zones inondables. On décrira dans ce chapitre cette intervention ainsi que les caractéristiques hydrauliques et économiques de la région.

2.1 Programmes de cartographie et de zonage

L'entente entre les gouvernements du Canada et du Québec en vue de réduire les dommages au moyen d'un contrôle du développement à l'intérieur des plaines inondables a permis de cartographier les principales zones inondables du Québec. Les cartes ainsi établies sont devenues des documents de travail indispensables à l'élaboration de mesures de lutte contre les inondations et, principalement, à la planification du développement de certains secteurs en voie d'être urbanisés le long des cours d'eau.

Les plaines inondables ont été divisées en deux zones : la zone de grands courants et la zone de faibles courants. La zone de grands courants s'étend depuis le rivage jusqu'à la ligne des eaux de la crue statistiquement susceptible de se produire une fois tous les 20 ans, c'est-à-dire celle dont la probabilité annuelle est de 5 %.

La zone de faibles courants s'étend depuis la première zone jusqu'à la limite des eaux de la crue statistiquement susceptible de se produire une fois tous les 100 ans, c'est-à-dire celle dont la probabilité annuelle est de 1 %.

La réglementation de zonage des plaines inondables au niveau de la CRO date du 14 avril 1977 et fait partie d'un plan d'aménagement global du territoire urbain et rural de la CRO. Essentiellement, cette réglementation stipule qu'aucun nouvel ouvrage ne doit être permis dans la zone de grands courants et que seuls les ouvrages immunisés à la cote centenaire et selon des normes spécifiques peuvent être érigés en zone de faibles courants. De plus, la réglementation prévoit l'interdiction générale de nouvelles voies de communication et de nouveaux réseaux d'égouts et d'aqueduc en zone de grands courants.

2.2 Zone d'étude

La CRO se situe au sud-ouest du Québec à la limite de l'Ontario et au confluent des rivières Gatineau et des Outaouais (figure 2.1). Elle regroupe 10 villes et municipalités réparties autour de la ville de Hull, qui représente le centre économique de la région. La figure 2.2 présente la configuration géographique de cette région.

a) Division de la zone d'étude en cellules hydroéconomiques

Pour augmenter la précision des modèles utilisés, on a divisé la région d'étude en cellules hydroéconomiques qui respectent les critères suivants : homogénéité de la valeur du stock de capital dans chaque cellule et dénivellation faible du profil d'eau entre les niveaux amont et aval de chaque cellule.

Une représentation typique d'une cellule hydroéconomique est présentée à la figure 2.3. La cellule comprend à la fois des régions cartographiées qui s'étendent entre le rivage et la ligne des eaux de la crue centenaire et des régions non cartographiées qui se situent

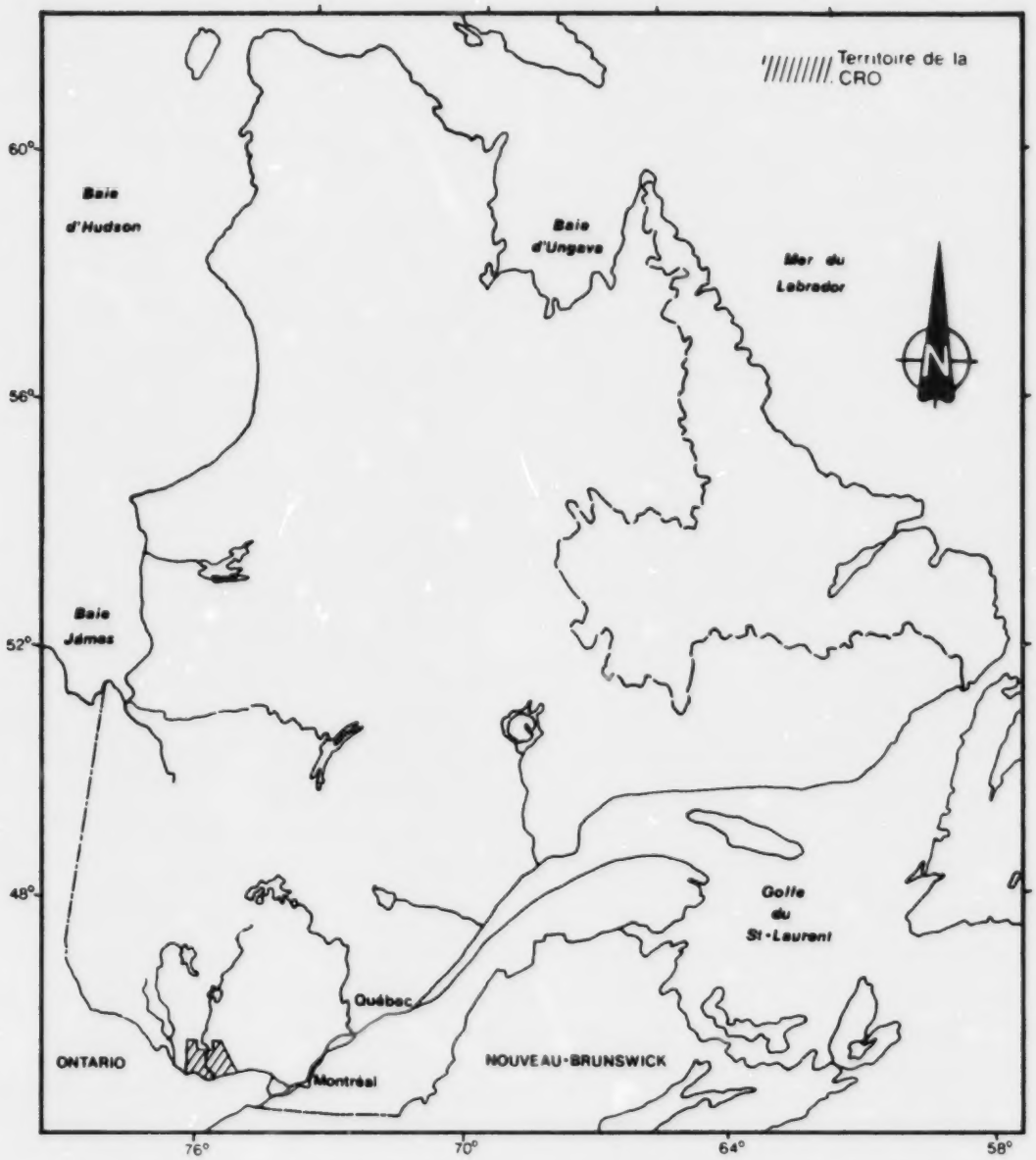

Figure 2.1 Le Québec et la Communauté régionale de l'Outaouais.

au-delà de cette ligne. Pour l'estimation des dommages, on ne distinguera pas les zones de grands courants des zones de faibles courants telles que définies par la convention de cartographie. En effet, le règlement de zonage stipule que, dans la zone de faibles courants, toute nouvelle construction doit être immunisée à un niveau au moins égal à la cote centenaire. Il en résulte un déplacement de

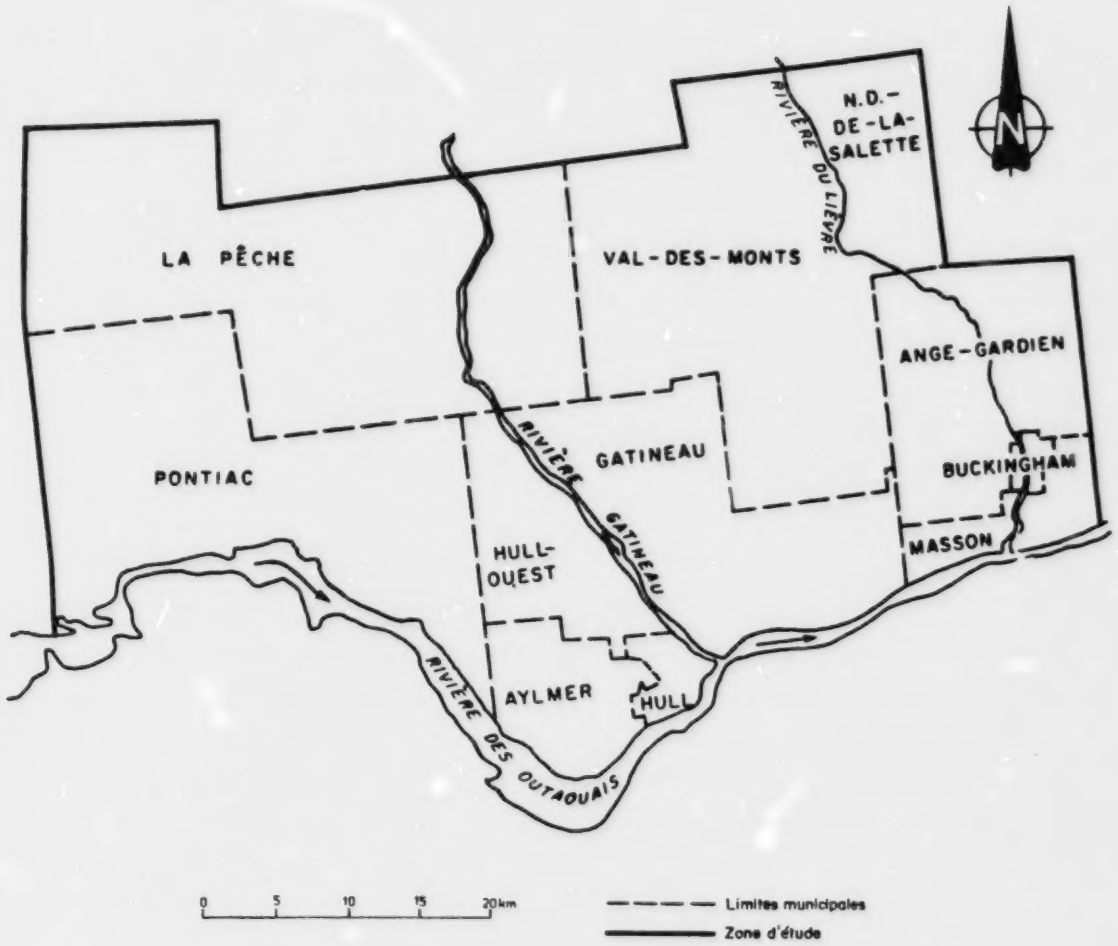

Figure 2.2 Configuration géographique de la Communauté régionale de l'Outaouais.

cette construction à l'extérieur de la zone cartographiée. Ainsi, il n'y aura pas, dans aucune des deux zones, une augmentation du nombre de résidences.

Le programme de cartographie a permis d'identifier les plaines inondables dans trois villes et trois municipalités de la CRO : il s'agit des villes d'Aylmer, de Gatineau et de Masson et des municipalités de Hull-Ouest, de La Pêche et de Pontiac. Par leur situation géographique ou physique, les villes de Hull et de Buckingham, ainsi que les municipalités de l'Ange-Gardien, de Notre-Dame-de-la-Salette et de Val-des-Monts sont protégées de l'assaut des crues d'une récurrence de 100 ans.

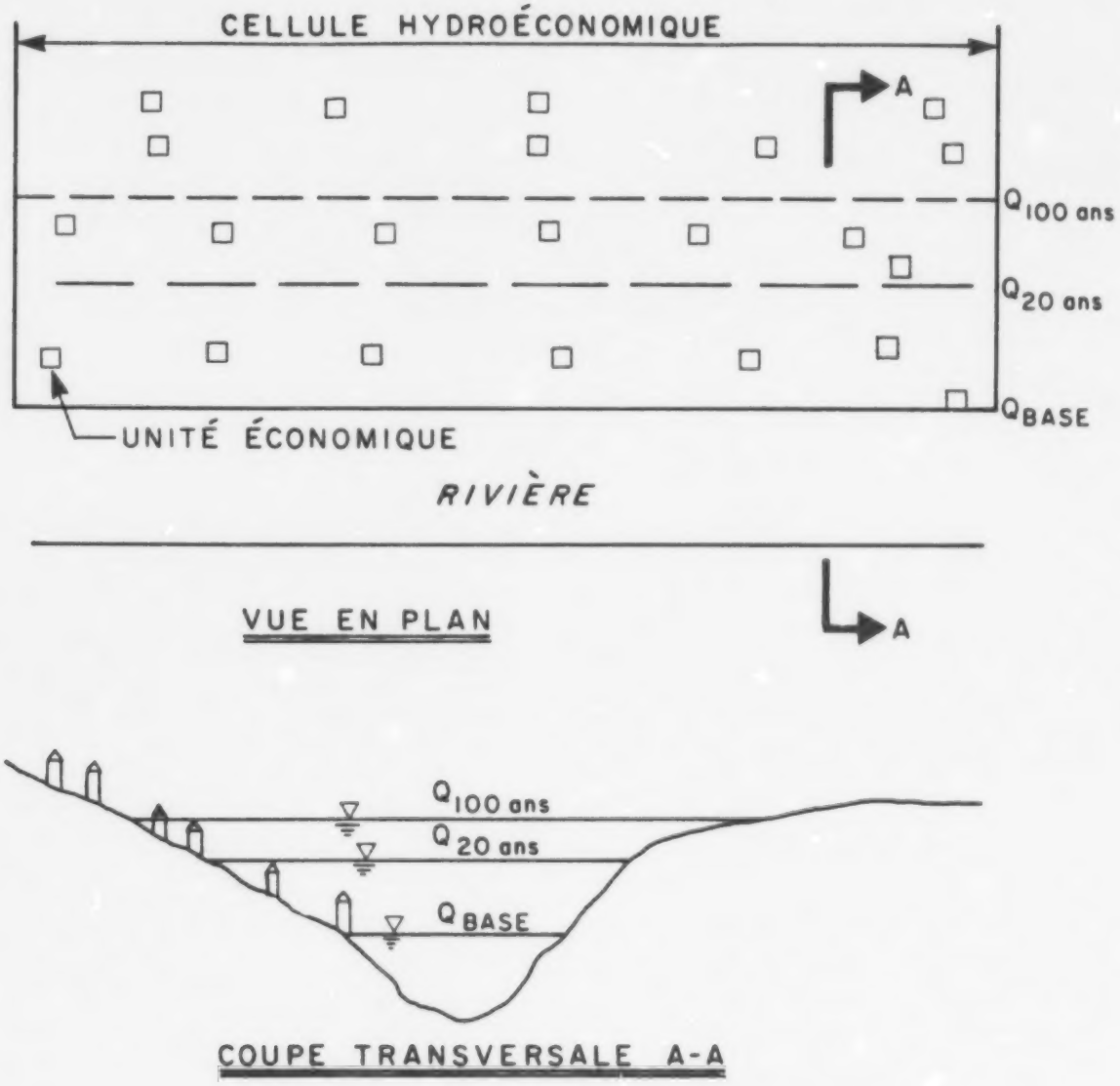

Figure 2.3 Représentation typique d'une cellule hydroéconomique.

Des villes et municipalités cartographiées, on a défini six cellules hydroéconomiques:

i) Cellule OUT.1 : ville de Masson;
ii) Cellule OUT.2 : ville de Gatineau;
iii) Cellule OUT.3 : ville d'Aylmer et municipalité de Pontiac;
iv) Cellule GAT.1 : municipalité de Hull-Ouest;
v) Cellule GAT.2 : municipalité de La Pêche (partie sud);
vi) Cellule GAT.3 : municipalité de La Pêche (partie nord).

Comme on le verra dans l'application numérique, la cellule OUT.2 est de loin la plus importante sur le plan économique quel que soit le critère utilisé.

b) Dommages historiques

La région de l'Outaouais est fréquemment frappée par les inondations. Notamment, en 1974 et en 1976, les crues printanières ont causé d'importants dommages. Le tableau 2.1 présente les indemnités versées par le gouvernement du Québec aux villes et municipalités de la CRO. En 1974, 1,8 million (dollars 1974) a été versé aux villes et municipalités; de ce montant, 1,4 million a permis de compenser 722 propriétaires de résidence. Ceci représente, en moyenne, 1940 $ par résidence endommagée. En 1976, l'indemnisation était de 1,2 million (dollars 1976), dont une somme de 850 000 $ a permis de compenser 540 propriétaires de résidence. Ceci représente, en moyenne, 1575 $ par résidence endommagée.

Tableau 2.1 Indemnités versées lors des crues de 1974 et de 1976

Ville ou municipalité	1974 (dollars 1974)	1976 (dollars 1976)
Aylmer	—	2 800
Gatineau	1 570 295	1 026 264
Hull-Ouest	3 315	—
La Peche	132 089	4 599
Masson	97 403	144 617
Pontiac	—	8 733
Total	1,8 million	1,2 million

Source : Donnees fournies par le ministere de l'Environnement du Quebec.

2.3 Caractéristiques hydrologiques

Les résidents de la CRO sont aux prises avec le débordement des eaux des rivières des Outaouais et Gatineau. C'est donc sur le régime hydraulique de ces deux rivières que porte cette étude.

La rivière des Outaouais sépare le Québec et l'Ontario sur la plus grande partie de son parcours. Son bassin versant a une superficie totale de 146 334 km^2, dont 65 % au Québec et 35 % en Ontario. Cette rivière possède un régime hydraulique très variable avec un débit moyen de 2200 $m^3.s^{-1}$, un débit maximal qui peut atteindre 10 000 $m^3.s^{-1}$ et un débit minimal, avec intervention humaine, de 350 $m^3.s^{-1}$.

Le régime hydraulique de la rivière des Outaouais est fortement influencé par l'existence de 27 réservoirs et de 43 centrales hydroélectriques situés majoritairement sur la partie supérieure du bassin versant et qui contrôlent environ 60 % de sa superficie. La plupart de ces principaux ouvrages de contrôle furent construits afin d'exploiter le potentiel hydroélectrique de la région et de satisfaire la demande locale en énergie. Le Comité de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais a été créé en 1977 conjointement par les différents intervenants : gouvernements du Canada, du Québec, de l'Ontario et sociétés hydroélectriques de l'Ontario et du Québec. Ce Comité a élaboré en 1980 une politique d'exploitation et un modèle d'optimisation de ces ouvrages dans le but de minimiser les risques d'inondations dans les régions susceptibles d'être affectées tout en tenant compte de la production d'énergie électrique. Le Comité a continué d'exister jusqu'en mars 1983 où il s'est transformé en Commission. Depuis, la Commission et ensuite son secrétariat ont géré le modèle de régularisation.

La rivière des Outaouais parcourt plus de 1130 km entre sa source à l'est du réservoir Dozois et son exutoire dans le lac des Deux Montagnes. Pour ce travail, la région d'étude se situe dans les limites de la CRO, soit dans le tronçon compris entre la municipalité de Pontiac et la ville de Masson, ce qui représente une longueur d'environ 100 km.

La rivière Gatineau, dont le bassin a une superficie totale de 23 600 km^2, parcourt environ 360 km entre sa source et son exutoire dans la rivière des Outaouais près des villes de Hull et Gatineau. La

région d'étude se limite au tronçon compris entre la municipalité de La Pêche et l'exutoire de la rivière, ce qui représente une longueur d'environ 50 km.

2.4 Stock de capital physique

L'estimation des dommages causés par les inondations requiert la connaissance du stock de capital présent dans les plaines inondables lors de la mise en application du programme de zonage. Elle requiert aussi la connaissance de l'évolution temporelle de ce stock. Puisqu'on se limite au secteur résidentiel des régions cartographiées de la CRO, cette évaluation a été faite par l'estimation des variables suivantes :

i) NR_o : le nombre de résidences situées dans les régions cartographiées en 1977;

ii) VMR_o : la valeur moyenne de ces résidences en 1977;

iii) r : le taux moyen d'accroissement annuel du nombre de ces résidences;

iv) ψ : le taux moyen d'accroissement annuel de la valeur moyenne de ces résidences.

On a divisé le secteur résidentiel en deux types d'unités (les résidences permanentes et les résidences secondaires ou chalets) pour évaluer les variables NR_0 et VMR_0. Toutefois, dans l'estimation des taux d'accroissement, on a étudié globalement le secteur résidentiel. Dans les prochains paragraphes, on expliquera comment ces variables ont été estimées.

a) Nombre de résidences

Grâce à des cartes topographiques, on a été en mesure de relever le nombre de résidences situées dans les plaines inondables de chacune des cellules hydroéconomiques en 1977 (NR_0). De plus, le personnel de la CRO nous a aidés à déterminer, à partir de cette variable, la proportion de résidences principales et de chalets. Ces données sont présentées au tableau 2.2.

Tableau 2.2 Nombre (NR_0) et valeur moyenne (VMR_0) des résidences par cellule hydroéconomique en 1977

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 Hull-Ouest	GAT.2 La Peche (sud)	GAT.3 La Pêche (nord)
Nombre de residences principales	22	870	54	8	30	3
Nombre de chalets	60	9	21	29	71	44
Valeur moyenne des residences principales	30 700	35 500	41 600	49 000	29 500	29 500
Valeur moyenne des chalets	9 800	9 000	18 700	19 300	13 600	13 600

b) Valeur moyenne des résidences

La valeur moyenne des résidences principales et des chalets (VMR_0) a été calculée à partir des relevés de l'évaluation municipale de 1977 de chacune des municipalités de la CRO. Dans cette évaluation, les résultats sont agrégés par municipalité : on suppose ainsi que la valeur moyenne des résidences qui sont situées dans les plaines inondables est égale à la valeur moyenne de l'ensemble des résidences de la cellule correspondante. Le tableau 2.2 présente les données obtenues séparément pour les deux types d'unités, soit les résidences principales et les chalets.

c) Taux moyen d'augmentation du nombre de résidences

Le taux moyen d'augmentation annuel du nombre de résidences (τ) diffère pour les deux systèmes étudiés. Dans le cas du système régularisé, le taux d'augmentation annuel du nombre de résidences est nul car d'une part l'intervention de zonage interdit toute nouvelle

construction dans la zone de grands courants, d'autre part elle impose des normes de construction dans la zone de faibles courants afin d'immuniser les nouvelles habitations contre les crues de récurrence inférieure à 100 ans.

Dans le cas du système de base, il s'agit de supposer le taux d'augmentation annuel du nombre de résidences si l'intervention de zonage n'avait pas été appliquée. Cette étape est très importante car la valeur des bénéfices reliés à l'intervention de zonage est en grande partie influencée par cette variable. C'est pourquoi trois scénarios ont été considérés pour l'évaluation de cette dernière :

Scénario A : Le taux moyen d'augmentation des résidences d'une zone cartographiée est le même que celui de la cellule hydroéconomique dans laquelle se trouve cette zone;

Scénario B : Le taux d'augmentation des résidences d'une zone rurale cartographiée est le même que celui de l'ensemble des municipalités rurales de la CRO; celui d'une zone urbaine cartographiée est le même que celui de l'ensemble des municipalités à caractère urbain de la CRO;

Scénario C : Le taux d'augmentation des résidences des zones cartographiées est le même que celui de la CRO.

Pour déterminer ces taux, on s'est fié au taux d'augmentation du nombre d'unités résidentielles de chacune des villes et municipalités de la CRO de 1977 à 1985. On a supposé qu'il y a relocalisation des résidents éventuels des plaines inondables dans les limites de la CRO et, de ce fait, que l'intervention de zonage n'influence pas le taux d'augmentation du nombre de résidences des différentes cellules cartographiées. Ce scénario est d'autant plus justifié que l'importance du nombre de résidences des zones cartographiées est relativement faible comparativement à celle de la cellule entière.

Pour évaluer les taux reliés au scénario B, on a regroupé les villes et municipalités urbaines et rurales de la CRO. Dans le premier groupe, on retrouve les villes de Hull, de Gatineau, d'Aylmer et de Buckingham. Le second groupe inclut la ville de Masson et les six municipalités de la CRO.

Les taux d'augmentation du nombre de résidences (τ) dans le cas du système de base sont présentés au tableau 2.3.

Tableau 2.3 Taux moyens d'augmentation du nombre (τ) et de la valeur moyenne (ψ) des résidences (%)

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 Hull-Ouest	GAT.2 La Pêche (sud)	GAT.3 La Pêche (nord)
(Scénario A)						
τ	0,7	1,5	1,4	0,3	0,6	0,6
ψ	-4,5	-3,0	-2,7	-1,7	-2,9	-2,9
(Scénario B)						
τ	0,6	1,4	1,4	0,6	0,6	0,6
ψ	-4,5	-3,0	-2,7	-1,7	-2,9	-2,9
(Scénario C)						
τ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ψ	-4,5	-3,0	-2,7	-1,7	-2,9	-2,9
(Scénario D)						
τ	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
ψ	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

d) Taux moyen d'augmentation de la valeur moyenne des résidences

On a déterminé le taux moyen d'augmentation de la valeur moyenne des résidences des plaines inondables d'une cellule hydroéconomique (ψ) à partir du taux d'augmentation de la valeur moyenne de l'ensemble des résidences de la cellule. À cette fin, on a consulté les

évaluations municipales des années 1977 à 1984 de toutes les municipalités de la CRO. De ce taux, on a soustrait le taux d'inflation mesuré entre les années 1977 et 1984 pour évaluer les bénéfices en dollars constants. On a tenu compte aussi des changements de base dans l'évaluation foncière des municipalités.

Le taux de croissance annuel de la valeur moyenne des résidences est identique pour les systèmes de base et régularisé. Ainsi, on suppose que l'intervention de zonage n'influence, ni à la baisse, ni à la hausse, la valeur moyenne des résidences situées dans les plaines inondables. En fait, selon la situation particulière de chaque résidence, la valeur peut varier en fonction de divers facteurs environnementaux entourant la propriété.

Pour cette période, on a constaté une baisse de la valeur moyenne (réelle) des résidences. Ces valeurs de ψ ont été retenues pour les scénarios A, B et C faits sur les taux d'augmentation du nombre de résidences (τ).

Considérant ces valeurs de ψ comme pessimistes à long terme, on a construit un autre scénario (D), dans lequel le taux d'augmentation de la valeur moyenne des résidences est égal à 2,5 % et le taux d'augmentation du nombre de résidences est égal à 1,2 %. Cet encadrement constitue donc un scénario optimiste, dont la vraisemblance est élevée à long terme. D'une part, l'évolution actuelle du secteur immobilier vérifie ce scénario, mais celui-ci permet surtout de tenir compte, de façon indirecte, de l'augmentation de la valeur du contenu des résidences.

Les valeurs des différents taux pour les quatre scénarios considérés sont regroupées dans le tableau 2.3.

Estimation des dommages

Le but du présent chapitre est de calculer les dommages moyens annuels des systèmes régularisé et de base pour l'évaluation de la rentabilité économique du programme fédéral-provincial de cartographie et du programme de zonage appliqué par la CRO. À cette fin, on utilisera le modèle des valeurs extrêmes pour l'estimation du dommage unitaire moyen annuel. Toutefois, dans l'utilisation de ce modèle, seule la répartition annuelle des crues sera considérée car, au Québec, entre 80 % et 90 % des crues surviennent au printemps et sont causées par la fonte des neiges. Les études précédentes (El-Jabi et al., 1982a) ont démontré que, pour cette raison, l'utilisation des répartitions annuelles et saisonnières donne des résultats quasi-identiques.

3.1 Équation du dommage moyen annuel

Par le modèle des valeurs extrêmes, on déterminera le dommage unitaire moyen annuel (DUMA). De cette variable, on estimera le dommage moyen annuel (DMA) du secteur résidentiel par la relation suivante (Ouellette et al., 1985) :

$$DMA_i = DUMA * KR_i \qquad (3.1)$$

où KR_i est la valeur des résidences affectées par la crue durant l'année i. On peut exprimer cette variable de la façon suivante :

$$KR_i = PMR * KTR_i \qquad (3.2)$$

où PMR représente le pourcentage moyen des résidences affectées annuellement par les crues et KTR_i, la valeur totale des résidences durant l'année i.

Si on connaît la répartition spatiale des résidences dans la plaine inondable ainsi que la relation fréquence de dépassement - hauteur d'eau déterminée par un modèle hydrologique, on peut dériver la relation $\varphi(x)$ qui associe à la fréquence de dépassement d'une crue, le nombre de résidences affectées par cette crue. En intégrant cette relation, on calcule le nombre moyen de résidences affectées annuellement par les crues, et en divisant ce résultat par le nombre total (NR) des résidences situées dans la plaine inondable, on obtient la variable PMR. Cette dernière s'exprime alors de la façon suivante :

$$PMR = \frac{1}{NR} * \int_0^{\infty} \varphi(x)\, dx \qquad (3.3)$$

En faisant l'inventaire des résidences situées dans les plaines inondables, on détermine relativement facilement la variable KTR_i. Elle se décompose de la façon suivante :

$$KTR_i = NR_i * VMR_i \qquad (3.4)$$

où NR_i est le nombre de résidences situées dans les régions cartographiées d'une cellule hydroéconomique durant l'année i et VMR_i, la valeur moyenne de ces résidences pour l'année i.

Dans le chapitre précédent (section 2.4), on a déterminé le taux d'accroissement annuel du nombre de résidences situées dans les plaines inondables d'une cellule hydroéconomique (τ) et celui de la valeur moyenne de ces résidences (ψ). On peut intégrer ces variables dans l'équation (3.4) et on obtient alors :

$$KTR_i = NR_o * (1 + \tau)^i * VMR_o * (1 + \psi)^i \qquad (3.5)$$

où NR_o est le nombre de résidences situées dans les plaines inondables en 1977 et VMR_o, la valeur moyenne de ces résidences en 1977.

L'équation (3.1) devient alors :

$$DMA_i = DUMA * PMR * NR_0 * VMR_0 * [(1 + \tau) * (1 + \psi)]^i \quad (3.6)$$

En examinant chacune des variables de cette équation, on remarque que seule la valeur de τ distingue le calcul du dommage moyen annuel du système régularisé de celui du système de base; τ est le taux d'augmentation du nombre de résidences des régions cartographiées d'une cellule hydroéconomique. Dans le premier cas, on a $\tau = 0$. Dans le second, τ est supposé égal à une certaine valeur, déterminée dans le chapitre précédent (section 2.4) selon le taux d'augmentation du nombre de résidences de la région.

On a déjà estimé les variables NR_0, VMR_0, τ et ψ (section 2.4 et tableaux 2.2 et 2.3). Dans les sections 3.3 et 3.4, on évaluera les variables DUMA et PMR. Cela fait, il sera alors possible de calculer les dommages moyens annuels, desquels seront obtenus les bénéfices. Mais, auparavant, on va déterminer les relations de base nécessaires à l'évaluation de ces variables.

3.2 Relations de base

Trois relations sont nécessaires pour définir le dommage unitaire moyen (DUM), variable de base utilisée dans le modèle des valeurs extrêmes : hauteur de submersion - dommage unitaire; nombre de résidences - cote d'élévation; hauteur d'eau - frequence de dépassement.

a) Relation hauteur de submersion - dommage unitaire

La relation hauteur de submersion - dommage unitaire est donnée par la fonction du dommage unitaire qui est exprimée par une fonction

de Gompertz modifiée (El-Jabi, 1980) :

$$F(z) = \frac{d}{K} = \frac{1}{e^{e^{-\alpha}} - 1} * \left[e^{\left[1 - e^{-\beta z}\right]} * e^{-\alpha} - 1 \right] \qquad (3.7)$$

où d est la valeur du dommage, K, celle du stock de capital et z, la hauteur de submersion.

L'étalonnage de cette fonction se fait par l'estimation de deux paramètres (α et β) qui dépendent des caractéristiques économiques de la région à l'étude. Une enquête après-crue permet leur détermination. À la suite des inondations de 1976, une enquête après-crue a été menée par le Centre de recherche en aménagement régional (CRAR, 1977) dans la région de la rivière Richelieu. El-Jabi (1980) a estimé ces paramètres caractérisant cette région par la méthode des moindres carrés pour des fonctions non linéaires.

En appliquant ce modèle uniquement au secteur résidentiel (ce secteur est relativement homogène à l'intérieur du Québec), il est possible de transposer les valeurs de ces paramètres d'une région à une autre. En d'autres mots, on suppose que, pour une même hauteur de submersion, le dommage unitaire (dommage en pourcentage de la valeur de la résidence) causé à une résidence de la région de l'Outaouais est égal à celui causé à une résidence de la région du Richelieu. Pour l'ensemble de ce secteur, les valeurs obtenues par El-Jabi et al. (1981) sont : $\alpha = 0{,}953$ et $\beta = 0{,}108$. La fonction du dommage unitaire s'exprime alors comme suit (figure 3.1) :

$$F(z) = \frac{d}{K} = \frac{1}{e^{e^{-0{,}953}} - 1} * \left[e^{\left[1 - e^{-0{,}108z}\right]} * e^{-0{,}953} - 1 \right] \qquad (3.8)$$

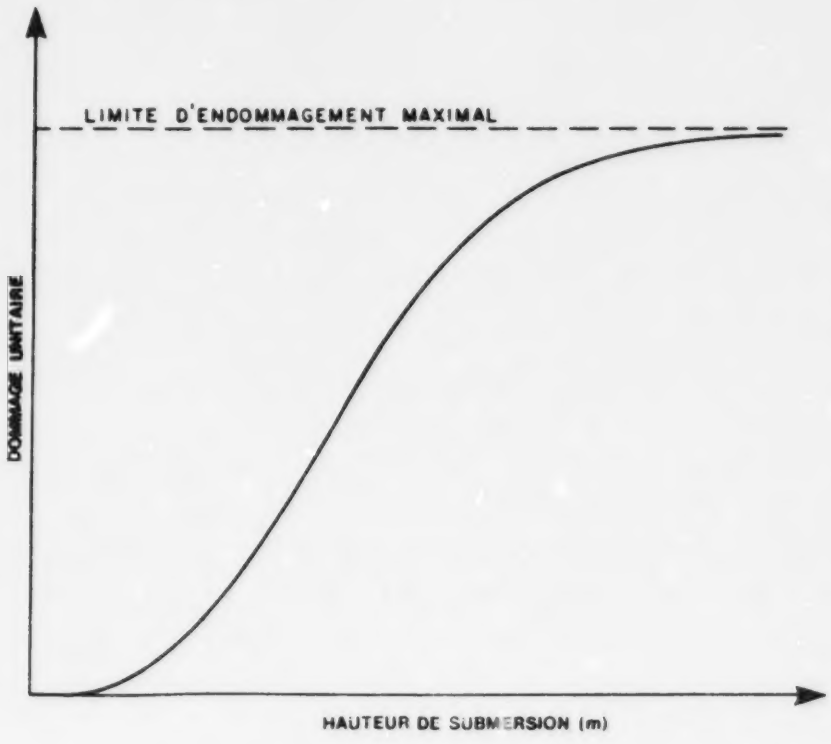

Figure 3.1 Relation hauteur de submersion – dommage unitaire.

b) Relation nombre de résidences - cote d'élévation

Puisque cette étude se limite aux régions cartographiées, on a été en mesure de relever, sur des cartes topographiques, la cote d'élevation de chacune des résidences situées dans ces régions en 1977. De ces données, on a tracé la relation qui associe le nombre de résidences à leur cote d'élévation.

c) Relation hauteur d'eau - fréquence de dépassement

À l'aide de la loi de log-Pearson type III appliquée aux débits ou niveaux d'eau maximums annuels enregistrés aux stations hydrométriques situées sur les rivières des Outaouais et Gatineau, on a etabli la relation hauteur d'eau - fréquence de dépassement propre à chacune des cellules hydroéconomiques à l'étude. Le tableau 3.1 présente le numéro des stations choisies ainsi que leurs caractéristiques. Puisque les données de la station 40801 sont exprimées sous

forme de débits, on a déterminé aussi, dans le cas des cellules situées le long de la rivière Gatineau, une relation hauteur d'eau - débit.

Tableau 3.1 Caractéristiques des stations hydrométriques

Station	Lieu	Cellule hydroéconomique	Nbre d'années d'observation	Période d'observation
43105	Cumberland	OUT.1	66	1918-1983
43119	Hull	OUT.2	20	1964-1983
43107	Quyon	OUT.3	57	1915-1978
40801	Mercier	GAT.1 GAT.2 GAT.3	53	1931-1983

3.3 Dommage unitaire moyen annuel

a) Série des hauteurs de crues

L'étude de la série des excédances par le modèle des valeurs extrêmes nécessite la connaissance du niveau de base. Celui-ci est défini comme étant le niveau d'eau maximal où le dommage, pour une cellule hydroéconomique, est nul. En d'autres mots, il correspond au niveau de la résidence la moins élevée de la cellule. Le tableau 3.2 présente la valeur du niveau de base utilisée pour chacune des cellules.

Connaissant le niveau de base, il suffit de déterminer les hauteurs de crues survenues dans chacune des cellules. Cette étude a été réalisée selon la méthode des valeurs extrêmes (Ouellette et al., 1986). Le tableau 3.3 présente la série des hauteurs de crues obtenue dans le cas de la cellule OUT.2.

Tableau 3.2 Valeur des variables pour l'estimation des dommages

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 Hull-Ouest	GAT.2 La Peche (sud)	GAT.3 La Peche (nord)
Niveau de base (m)	42.40	43.05	59.10	98.8	99.6	100.9
$\Lambda(t)$	0.662	0.947	1.286	0.811	0.811	0.358
γ	10.46	17.90	15.99	8.98	8.91	7.06
DUMA	0.0542	0.0426	0.0605	0.0748	0.0755	0.0465
PMR (%)	29.3	16.6	17.0	27.1	24.0	6.6

Tableau 3.3 Hauteurs de crues et dommages unitaires moyens (cellule OUT.2)

Annee	Jour*	Hauteur de crues (m)	DUM
1967	90	43.28	0.044 62
1967	222	43.16	0.021 58
1971	218	43.11	0.007 22
1972	219	43.49	0.068 22
1972	233	43.07	0.005 79
1973	170	43.94	0.074 25
1973	188	43.22	0.027 67
1973	210	43.08	0.008 68
1973	227	43.09	0.011 56
1974	233	44.91	0.177 38
1976	184	44.74	0.156 94
1977	166	43.43	0.051 61
1979	216	44.12	0.085 23
1980	174	43.36	0.052 70
1980	198	43.12	0.010 11
1981	149	44.25	0.104 06
1981	198	43.11	0.007 22
1983	224	44.00	0.090 55

* La numérotation des jours se fait a partir du debut de l'annee hydrologique : le premier octobre = 1; le 30 septembre = 365.

b) Série des dommages unitaires moyens

On a ensuite déterminé, à l'aide de l'équation (3.8), le dommage unitaire que subit une résidence par une certaine hauteur de submersion z. Cette hauteur de submersion est obtenue en soustrayant l'élévation de la résidence considérée de la hauteur de crue (figure 3.2). Puis, on obtient le dommage unitaire moyen en calculant la moyenne des dommages unitaires subis par toutes les résidences affectées par cette crue :

$$\left(\frac{\overline{d}}{K}\right) = \frac{1}{N} * \sum_{j=1}^{N} F(z_j) \qquad (3.9)$$

où N est le nombre de résidences affectées par la crue correspondante à la hauteur z et $F(z_j)$ est la fonction du dommage unitaire causé à une résidence j par une hauteur de submersion z_j.

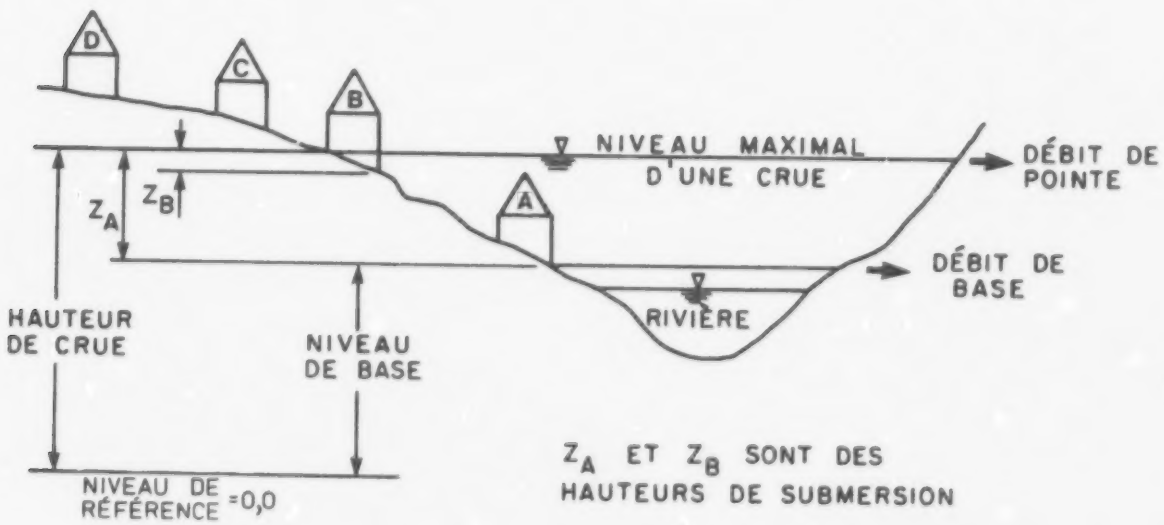

Figure 3.2 Représentation d'une hauteur de crue.

Le tableau 3.3 présente la série des dommages unitaires moyens annuels calculée dans le cas de la cellule OUT.2.

c) Étude de la série des dommages unitaires moyens par le modèle des valeurs extrêmes

Par la suite, on a appliqué, à la série des dommages unitaires moyens, le modèle des valeurs extrêmes (version CRUES, Desjardins et al., 1984).

On a vérifié, à un niveau de confiance de 5 %, à l'aide du test de khi carré, que la répartition du nombre d'événements dommageables suivait une loi de Poisson et ce, pour toutes les cellules étudiées.

La fonction de répartition de la valeur du dommage unitaire moyen H(x) a été représentée par une loi exponentielle :

$$H(x) = 1 - e^{-\gamma x} \qquad ; \quad \gamma > 0 \qquad (3.10)$$

En utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov, l'ajustement des valeurs observées à la loi exponentielle a été vérifié à un niveau de confiance de 5 %, et ce, pour toutes les cellules.

Connaissant les paramètres $\Lambda(t)$ de la distribution de Poisson et γ de la fonction exponentielle présentés au tableau 3.2, on a vérifié, pour toutes les cellules, l'ajustement de la répartition du dommage unitaire moyen maximum à une fonction double exponentielle au niveau de confiance de 5 % en utilisant le test de Kolmogorov-Smirnov.

Concernant la cellule OUT.2, la relation fréquence de dépassement - dommage unitaire moyen est donnée par l'équation suivante :

$$\rho(x) = \{1 - \exp [-0,947 * \exp (-17,90\ x)]\} \qquad (3.11)$$

L'estimation du dommage unitaire moyen annuel (DUMA) se fait grâce à l'intégration de la fonction $\rho(x)$. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 3.2. L'analyse des résultats nous permet de

constater que par exemple, les résidences faisant partie des plaines inondables de la cellule OUT.2 subissent annuellement et en moyenne des dommages évalués à 4,26 % de leur valeur (figure 3.3).

3.4 Pourcentage moyen de résidences affectées

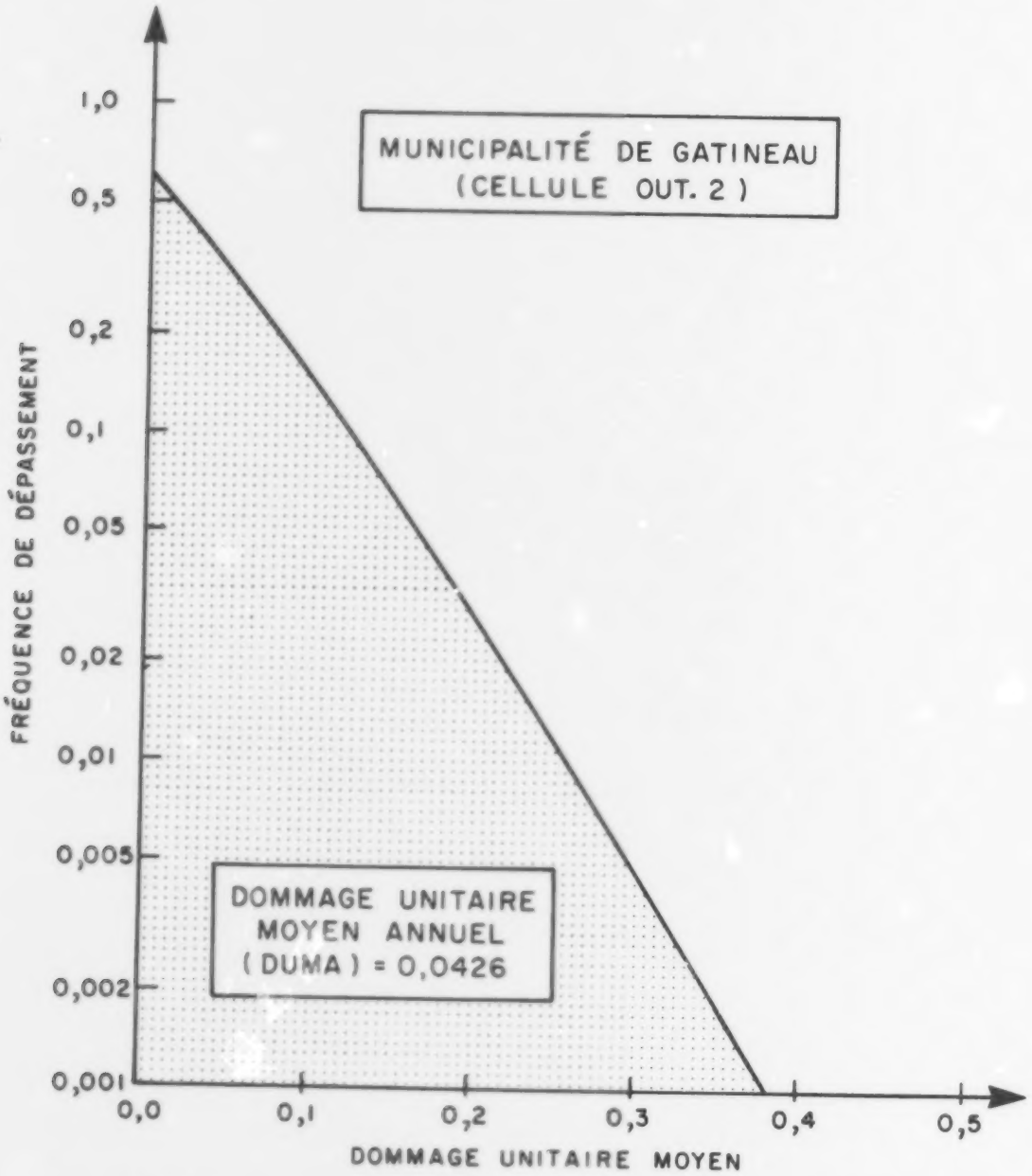

Figure 3.3 Relation fréquence de dépassement – dommage unitaire moyen (cellule OUT. 2).

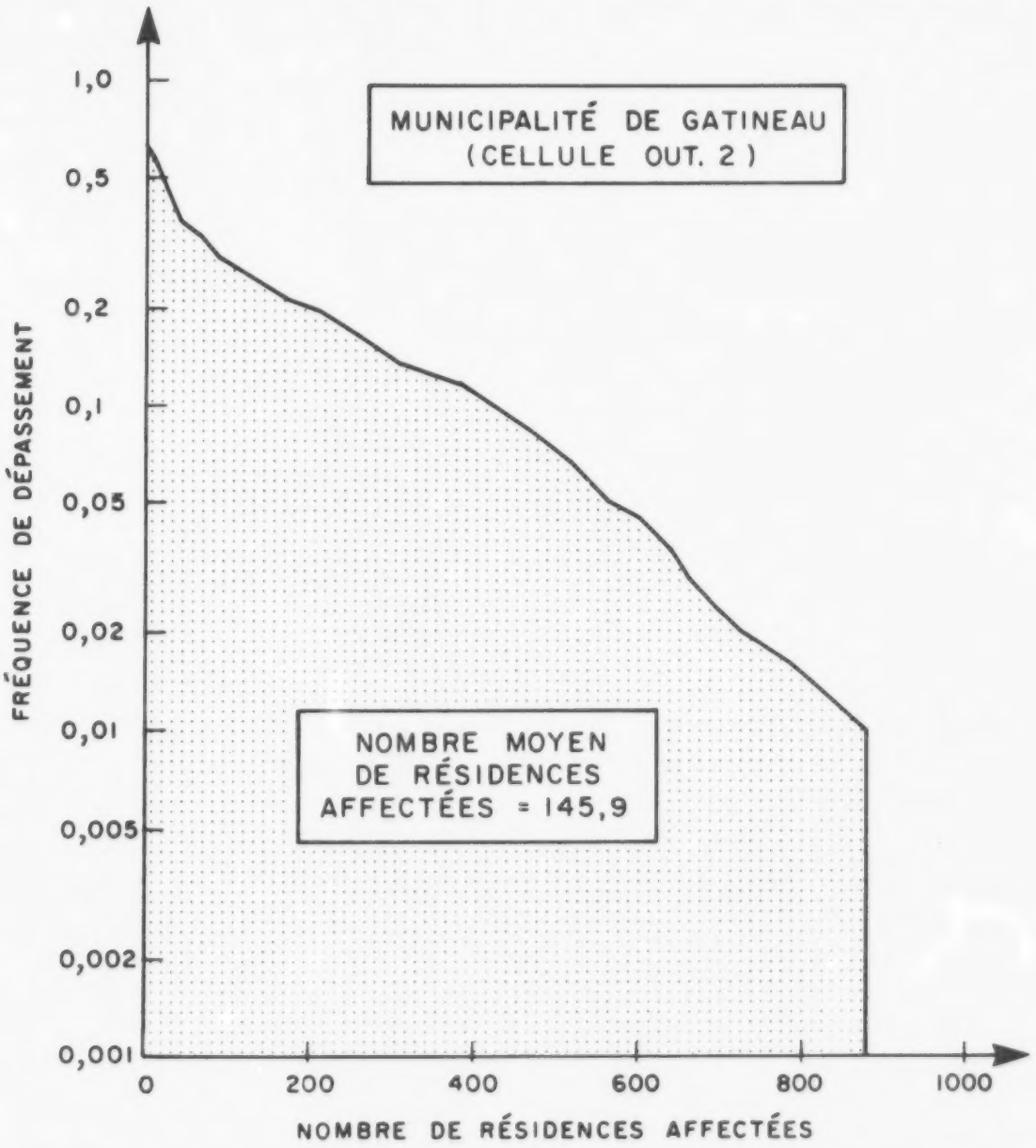

Figure 3.4 Relation fréquence de dépassement – nombre de résidences affectées (cellule OUT. 2).

Tel que mentionné précédemment, la relation entre la fréquence de dépassement et le nombre de résidences affectées est obtenue à partir des relations hauteur d'eau - fréquence de dépassement et nombre de résidences - cote d'élévation.

Connaissant cette relation, on a déterminé, par régression non linéaire, l'équation du troisième degré qui s'y apparente le mieux. Puis, on a intégré cette équation et on a obtenu la variable PMR selon l'équation (3.3). L'analyse des résultats présentés au tableau 3.2 fait voir que pour la cellule OUT.2, 16,6 % des résidences qui font partie des plaines inondables de cette cellule sont affectées par les crues en moyenne une fois par année (figure 3.4).

Évaluation économique de l'intervention

Ce chapitre est consacré à l'évaluation économique de l'intervention de zonage appliquée dans la région de l'Outaouais. On calculera, dans un premier temps, les bénéfices qui sont créés par cette intervention. Ensuite, on examinera les avantages et les désavantages que retireront les différents intervenants (gouvernements fédéral et provincial, municipalités et particuliers) à la suite de cette intervention. Finalement, pour évaluer la robustesse des résultats, on analysera la sensibilité des diverses variables économiques employées dans le calcul des dommages.

4.1 Calcul des bénéfices

L'intervention de zonage est une mesure par laquelle le développement futur des plaines inondables est contrôlé de façon à éliminer les pertes monétaires qui seraient engendrées par une occupation accrue de ces plaines. La figure 4.1 illustre comment sont obtenus les bénéfices, soit par la différence entre les dommages moyens annuels du système non régularisé et ceux du système régularisé (les dommages résiduels).

Les dommages moyens annuels calculés à l'aide de l'équation (3.6) du chapitre précédent sont des coûts annuels. On peut actualiser ces dommages au début de période et ainsi obtenir la valeur présente du dommage total :

$$DT = \sum_{i=1}^{n} DMA_i * (1 + r)^{-i} \qquad (4.1)$$

où DT est le dommage total exprimé en dollars constants actualisés au début de la période (i = 0), r est le taux d'actualisation et n est la durée de vie du projet.

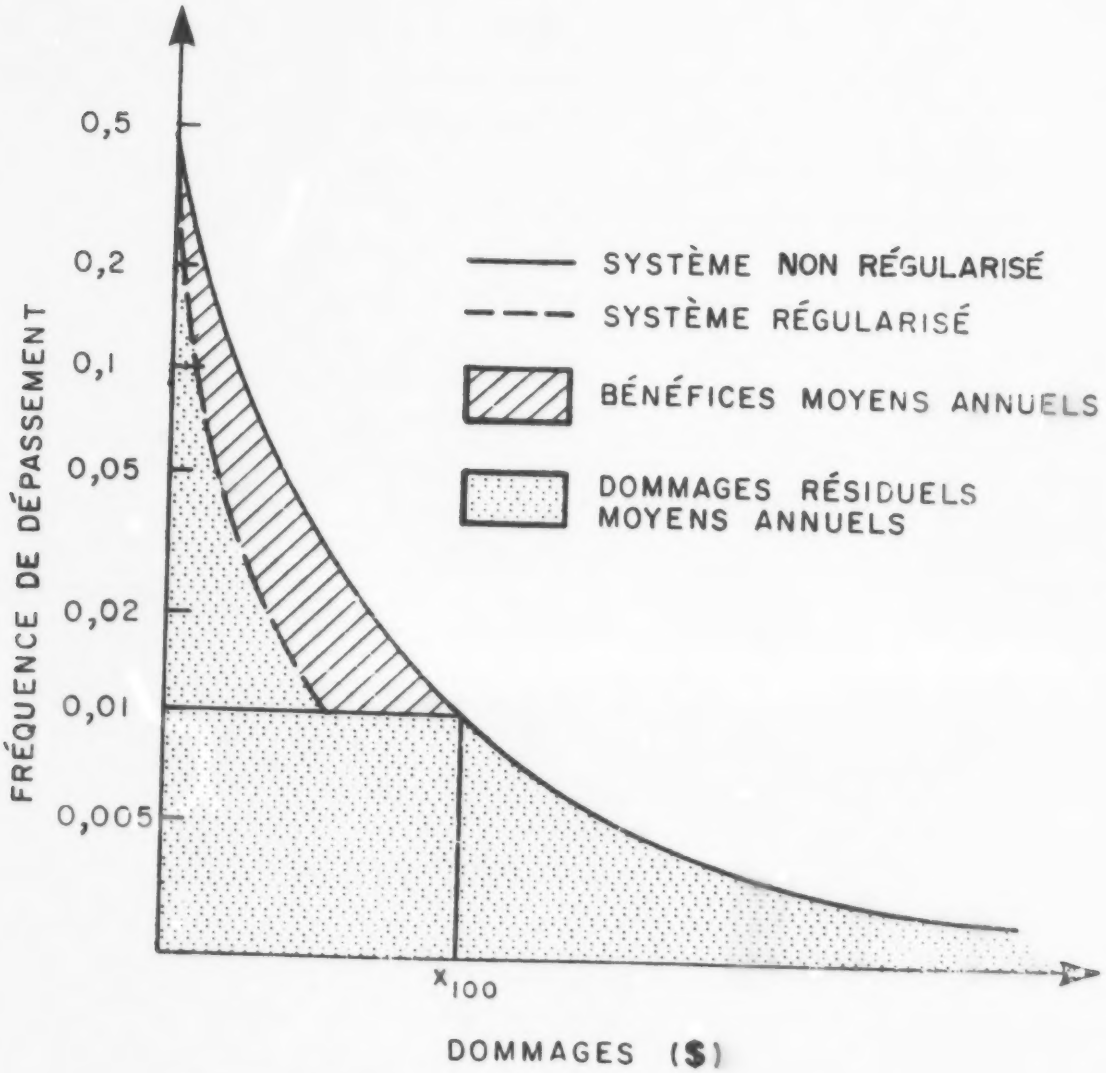

Figure 4.1 Relation fréquence de dépassement – dommages (intervention de zonage).

Le début de période est l'année 1977, c'est-à-dire lorsque le règlement de zonage a été appliqué. On a utilisé deux taux d'actualisation (r) : 5 % et 10 %. La valeur de 5 % du taux d'actualisation correspond au taux d'intérêt réel à long terme et sert à l'évaluation

du programme du point de vue de l'ensemble de la collectivité. Quant à la valeur de 10 %, elle intègre les contraintes budgétaires du décideur public. L'évaluation du programme est faite sur une période de 30 années.

Le tableau 4.1 contient les dommages totaux (DT) qui seraient encourus dans les systèmes de base et régularisé selon les différents scénarios faits sur les taux d'actualisation (r), d'accroissement de la valeur moyenne des résidences (ψ) et d'augmentation du nombre de résidences (τ). À remarquer que dans le système régularisé, les résidents qui ont construit des propriétés avant la mise en place du programme sont encore sujets à subir des dommages dans l'avenir.

Le tableau 4.2 présente les bénéfices totaux (BT) retirés du programme de zonage pour l'ensemble des intervenants et selon les différents scénarios. Ces bénéfices sont égaux à la diminution des dommages dans le système régularisé par rapport au système de base.

On constate l'importance du taux d'actualisation sur l'évaluation des résultats du programme. Un taux de 10 % coupe les bénéfices totaux pour la CRO de moitié environ par rapport à un taux de 5 %. Ce résultat est modulé selon les différents scénarios faits sur τ et ψ. En fait, les scénarios A, B et C donnent des résultats différents d'une cellule économique à l'autre mais il y a compensation de ces différences au niveau de l'ensemble de la CRO.

La valeur des bénéfices pour ces scénarios est de l'ordre de 440 000 $ (dollars 1977) en utilisant un taux d'actualisation de 5 % et de 220 000 $ (dollars 1977) si le taux est de 10 %.

Le scénario D, en privilégiant un taux d'augmentation plus élevé pour la valeur moyenne des résidences, entraine des bénéfices de 4 080 000 $ (dollars 1977) et 1 822 000 $ (dollars 1977) à des taux d'actualisation de 5 % et 10 % respectivement. Il y a un facteur de 9 entre les bénéfices des scénarios A, B et C et ceux du scénario D.

Tableau 4.1 Valeur des dommages totaux (DT) en dollars de 1977 (X 1000)

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 Hull-Ouest	GAT.2 La Peche (sud)	GAT.3 La Peche (nord)	TOTAL CRO
Système régularisé (r = 5 %)	199	2483	317	248	384	24	3655
Système non régularisé (Scénario A) (r = 5 %)	211	2861	362	256	406	26	4122
Système non régularisé (Scénario B) (r = 5 %)	209	2833	362	263	406	26	4099
Système non régularisé (Scénario C) (r = 5 %)	220	2778	355	280	430	27	4090
Système non régularisé (Scénario D) (r = 5 %)	483	5274	654	465	808	51	7735
Système régularisé (r = 10 %)	136	1646	208	159	254	16	2419
Système non régularisé (Scénario A) (r = 10 %)	142	1829	230	163	265	17	2646
Système non régularisé (Scénario B) (r = 10 %)	142	1815	230	167	265	17	2636
Système non régularisé (Scénario C) (r = 10 %)	147	1789	227	174	276	17	2630
Système non régularisé (Scénario D) (r = 10 %)	265	2892	358	255	443	28	4241

Tableau 4.2 Valeur des bénéfices totaux (BT) en dollars de 1977 (X 1000)

	OUT.1 Masson	OUT.2 Gatineau	OUT.3 Aylmer Pontiac	GAT.1 Hull-Ouest	GAT.2 La Pêche (sud)	GAT.3 La Pêche (nord)	TOTAL CRO
(Scénario A) (r = 5 %)	12	378	45	8	22	2	467
(Scénario B) (r = 5 %)	10	350	45	15	22	2	444
(Scénario C) (r = 5 %)	21	295	38	32	46	3	435
(Scénario D) (r = 5 %)	284	2791	337	217	424	27	4080
(Scénario A) (r = 10 %)	6	183	22	4	11	1	227
(Scénario B) (r = 10 %)	6	169	22	8	11	1	217
(Scénario C) (r = 10 %)	11	143	19	15	22	1	211
(Scénario D) (r = 10 %)	129	1246	150	96	189	12	1822

4.2 Analyse bénéfices-coûts

On peut maintenant faire l'examen des bénéfices et des coûts dans trois catégories d'intervenants : gouvernements fédéral et provincial, municipalités, propriétaires privés des plaines inondables.

Mais avant d'entreprendre cette analyse, il serait bon de mentionner comment sont réparties, présentement, les pertes causées par les inondations. À la suite de crues importantes, c'est-à-dire d'une récurrence généralement supérieure à 10 ans, les gouvernements peuvent indemniser les propriétaires des résidences qui sont endommagées. Mais ce critère n'est pas stable, il dépend du contexte écono-

mique et politique. De plus, les indemnités ne couvrent généralement pas la totalité des dégâts. Le gouvernement fédéral interviendra seulement si le dommage total correspond à plus de un dollar par habitant dans la province en question. À la suite des crues de fréquence plus élevée, ce sont les propriétaires qui doivent défrayer les coûts reliés aux réparations et au nettoyage de leur propriété. Ajoutons que les gouvernements ne dédommagent, en aucun temps, les les propriétaires de résidence secondaire.

a) Gouvernements fédéral et provincial

Les gouvernements ont payé les frais de production des cartes identifiant les zones de la CRO qui sont vulnérables aux inondations. Un budget de 6 millions de dollars a été accordé pour la cartographie de 185 municipalités du Québec. Cependant, il existe des différences d'une région à une autre. Pour les six villes et municipalités cartographiées de la CRO, nous avons estimé à 202 000 $ (dollars 1977), les crédits alloués.

D'un autre côté, les gouvernements n'auront pas, dans les prochaines années, à indemniser les gens qui décideront de construire leur résidence dans les plaines inondables et qui subiront, lors d'une forte crue, des dommages à leur propriété. Donc, en termes de non-augmentation des indemnités à payer, les gouvernements bénéficieront, par l'implantation de ce programme, de certains bénéfices économiques.

Le calcul suivant permet d'évaluer ces bénéfices économiques.

On fait l'hypothèse que les gouvernements ne remboursent que 45 % des dommages encourus dans le cas d'une crue de période de récurrence supérieure à 10 ans. Cette hypothèse correspond à l'intervention effective des gouvernements pour la crue de 1976.

On ne considère que les crues de récurrence comprises entre 10 et 100 ans. D'une part, l'événement supérieur à 100 ans serait exceptionnel et justifierait un pourcentage de dédommagement différent.

D'autre part, le programme de zonage ne s'applique qu'à la zone 0-100 ans.

Pour une unité construite dans cette zone et affectée par une crue de récurrence de 10 ans ou plus, le remboursement unitaire moyen annuel des gouvernements (RUMAG) est donné par :

$$RUMAG = 0,45 * \int_{0,01}^{0,10} DUM(\rho)\ d\rho \qquad (4.2)$$

où $DUM(\rho)$ provient de l'équation (3.11) .

Pour l'ensemble de la région, lorsqu'il n'y a pas de programme de zonage, l'espérance mathématique du remboursement total actualisé des gouvernements ($RTAG_{nr}$) s'écrit :

$$RTAG_{nr} = \sum_{t=1}^{30} RUMAG * PMR * KT_0 * \left[\frac{(1 + \psi) * (1 + \tau)}{(1 + r)}\right]^t \qquad (4.3)$$

Dans le cas où le programme de zonage est appliqué, l'expression correspondante ($RTAG_r$) s'exprime :

$$RTAG_r = \sum_{t=1}^{30} RUMAG * PMR * KT_0 * \left[\frac{(1 + \psi)}{(1 + r)}\right]^t \qquad (4.4)$$

La valeur de PMR ne diffère pas dans les deux cas car le programme de zonage ne change pas la distribution spaciale des unités déjà en place. De plus, par hypothèse, on pose que l'évolution du système régularisé conserverait cette distribution.

Pour le système régularisé et dans la zone de faibles courants, le programme admet de nouvelles unités, mais elles devront être construites de telle sorte que les crues de période de récurrence inférieure à 100 ans ne les affectent pas. En conséquence, on peut considérer que ces constructions ne font pas partie de la zone de faibles courants. La seule différence entre les systèmes régularisé et non régularisé demeure toujours la valeur du taux de croissance (τ) du nombre de résidences.

L'expression donnant le bénéfice total actualisé du gouvernement (BTAG), obtenu par l'économie faite sur les remboursements, s'écrit :

$$BTAG = RUMAG * PMR * KT_0 * \left[\frac{1 - (1 + r)^{-30} * (1 + \tau + \psi + \tau\psi)^{30}}{r - (\tau + \psi + \tau\psi)} - \frac{1 - (1 + r)^{-30} * (1 + \psi)^{30}}{(r - \psi)} \right] \quad (4.5)$$

Le tableau 4.3 donne les valeurs de BTAG selon les différents scénarios faits sur le taux d'actualisation (r = 5 %, r = 10 %), le taux de croissance du nombre de résidences (τ) et le taux de croissance de la valeur moyenne des résidences (ψ). Dans le scénario le plus pessimiste pour le programme (r = 10 %, τ régionalisé - scénario B-, ψ différentié par municipalité), on obtient 32 800 $ (dollars 1977) pour BTAG. Dans le scénario le plus optimiste (r = 5 %, τ = 1,2 %, ψ = 2,5 %), on obtient 182 500 $ (dollars 1977) pour BTAG.

Quel que soit le scénario retenu, le ratio bénéfices-coûts pour les gouvernements est inférieur à 1, puisque le coût du programme est de 202 000 $ (dollars 1977).

Tableau 4.3 Valeur des bénéfices selon les intervenants en dollars de 1977 (X 1000)

Scénario	Gouvernements (BTAG)	Propriétaires de terrains vacants	Ville ou municipalité	Total
A (r = 5 %)	73	394	0	467
B (r = 5 %)	69,6	374,4	0	444
C (r = 5 %)	69,5	305,5	0	435
D (r = 5 %)	182,5	3897,5	0	4080
A (r = 10 %)	35,4	191,6	0	227
B (r = 10 %)	32,8	184,2	0	217
C (r = 10 %)	33,8	177,2	0	211
D (r = 10 %)	75,7	1746,3	0	1822

b) Municipalités

Les municipalités doivent supporter les coûts de l'implantation et de l'administration de ce programme. Ces coûts dépendent de différents facteurs économiques régionaux comme l'existence ou l'absence d'une structure administrative en place, l'existence d'activités économiques dans les régions cartographiées et leur potentiel de développement, etc. Dans le cas de la CRO, les gestionnaires ont dû élaborer une réglementation et la faire appliquer par les différentes municipalités. Par la suite, la CRO a étudié certains dossiers litigieux, sans toutefois subir, jusqu'ici du moins, de poursuites judiciaires. Elle a également dû repousser de fortes pressions de la part

de certains promoteurs de projets. Les coûts de ces activités administratives ne sont pas déterminés, bien qu'ils soient réels. Cependant, dans le cas de la CRO, ces coûts n'ont pas été très élevés jusqu'à maintenant et la relocalisation des résidences n'a pas engendré de pertes au niveau de la taxation foncière.

En contrepartie, les bénéfices retirés par les municipalités sont faibles puisqu'elles ne sont pas impliquées dans le système de remboursement des dommages du secteur résidentiel.

Les bénéfices et les coûts au niveau des municipalités sont proches de zéro dans le secteur résidentiel. En conséquence, elles sont relativement neutres relativement à l'application du programme de zonage.

c) Propriétaires privés des plaines inondables

Ce type d'intervenants se divise en deux groupes.

i) Les propriétaires de terrains situés dans les plaines inondables et qui avaient déjà fait construire leur résidence en 1977. Ces propriétaires, parce qu'ils ont déjà construit leur résidence, ne sont pas affectés par le programme de zonage.

ii) Les propriétaires de terrains vacants. À la suite de l'application du règlement de zonage, il est interdit aux propriétaires de terrains vacants d'y ériger tout bâtiment vulnérable aux inondations. Pour cette raison, la valeur de leur terrain diminuera certainement.

En 1977, le service d'évaluation municipale de la CRO a dénombré sur son territoire 44 900 résidences et 22 700 terrains vacants, ces derniers étant alors évalués à 74 millions (dollars 1977). Si on suppose qu'il existait la même proportion de résidences et de terrains vacants dans les plaines inondables, il y avait alors 617 terrains vacants évalués à 2,0 millions (dollars 1977).

De ce total, il faut soustraire les terrains dont la valeur n'est pas affectée par l'application du règlement de zonage. Parmi ceux-ci, il y a les terrains situés dans les zones de faibles courants où l'on peut construire en s'immunisant contre les risques d'inondation. Il y a aussi les terrains désignés par la loi de la protection du territoire agricole qui ne subiront pas de dévaluation. Enfin, seuls les terrains non zonés agricoles situés dans les zones de grands courants sont affectés par le règlement de zonage et perdront de leur valeur. Dans ce cas, on trouve 360 terrains vacants d'une valeur totale de 1,2 million (dollars 1977) et qui ne sont pas réglementés par le zonage agricole.

La dévaluation des terrains vacants n'a pu être déterminée avec précision car il aurait fallu examiner, cas par cas, toutes ces propriétés depuis 1977. La valeur de cette perte pour chaque terrain dépend de sa situation géographique (zone urbaine, rurale ou agricole) et d'autres facteurs environnementaux.

En contrepartie, les bénéfices des propriétaires de terrains vacants proviennent du fait qu'ils n'auront pas à payer, dans les prochaines années, les coûts des dommages causés par les crues puisque leur résidence devra être située dans des zones où les risques d'inondation sont presque nuls. Ces bénéfices sont le résultat du programme de zonage qui interdit la construction dans les zones inondables. (Ce programme ne leur accorderait aucune aide en cas de crue s'ils construisaient dans ces zones). Ces bénéfices sont obtenus en soustrayant, des bénéfices calculés, les gains des gouvernements résultant de ce programme.

Au tableau 4.3, sont présentés les bénéfices retirés par les propriétaires de terrains vacants. Ces bénéfices seront annulés pour ces intervenants si :

1) la valeur des terrains baisse d'environ 16 % lorsque sont utilisés les scénarios A, B et C et un taux d'actualisation de 10 %;
2) la valeur des terrains baisse d'environ 30 % lorsque sont utilisés les scénarios A, B et C et un taux d'actualisation de 5 %.

Si le scénario D est retenu, les propriétaires seront toujours bénéficiaires quelle que soit la dévaluation de leur terrain.

d) Rapport bénéfices-coûts

À la suite du calcul des bénéfices et des coûts relatifs au programme de zonage des plaines inondables de l'Outaouais, on peut déterminer les rapports bénéfices-coûts selon les intervenants et les divers scénarios envisagés. Le tableau 4.4 présente les résultats obtenus.

Tableau 4.4 Ratios bénéfices-coûts

Scenario	Gouvernements fed. - prov.	Propriétaires de terrains vacants	Ville ou municipalité	Total
A (r = 5 %)	0.36	>1*	Neutre	>1‡
B (r = 5 %)	0.34	>1*	Neutre	>1‡
C (r = 5 %)	0.34	>1*	Neutre	>1‡
D (r = 5 %)	0.90	>1	Neutre	>14.45
A (r = 10 %)	0.18	>1†	Neutre	>1§
B (r = 10 %)	0.16	>1†	Neutre	>1§
C (r = 10 %)	0.17	>1†	Neutre	>1§
D (r = 10 %)	0.37	>1	Neutre	>3.27

* Si la baisse de valeur des terrains vacants reste inferieure a 30 %.
† Si la baisse de valeur des terrains vacants reste inferieure a 16 %.
‡ Si la baisse de valeur des terrains vacants reste inferieure a 38 %.
§ Si la baisse de valeur des terrains vacants reste inferieure a 19 %.

On constate que le programme est rentable pour l'ensemble des intervenants quels que soient les scénarios retenus pour les taux d'actualisation, d'augmentation de la valeur moyenne des résidences et d'augmentation du nombre de ces résidences (scénarios A, B, C et D). Il faudrait en effet une baisse importante de la valeur des terrains vacants (plus de 19 %) pour que le ratio bénéfices-coûts soit inférieur à 1 dans la situation la plus défavorable (scénario C avec un taux d'actualisation de 10 %).

Toutefois, lorsqu'on considère la répartition des bénéfices entre les différents intervenants et que l'on en déduit les ratios bénéfices-coûts, on constate que le programme n'est jamais rentable du strict point de vue des gouvernements. Il faut noter que cette conclusion est celle obtenue à la suite d'un calcul de rentabilité financière appliqué aux gouvernements. À l'autre extrême, un calcul de rentabilité sociale doit intégrer les bénéfices retirés par les autres intervenants et son rapport bénéfices-coûts est celui présenté dans la dernière colonne du tableau 4.4. Il est généralement plus grand que 1.

Les principaux bénéficiaires sont en fait les propriétaires actuels et futurs des terrains vacants. Ceci n'empêche pas que les propriétaires actuels puissent être désavantagés par le programme de zonage lors de transactions immobilières. En effet, le marché peut sous-évaluer les coûts associés au phénomène aléatoire comme les inondations. Cette déficience du marché à véhiculer ce type d'informations se traduit par des prix supérieurs à la valeur réelle des terrains. Ceci peut donner lieu à des transferts entre propriétaires actuels et futurs. Notre approche ne tient pas compte de ces transferts interpersonnels qui se compensent dans l'évaluation du programme.

Les municipalités sont responsables de l'application du programme sans en être les principaux intervenants au niveau des bénéfices et des coûts. Cela explique peut être pourquoi ce type de programme ne s'est pas généralisé dans d'autres régions.

4.3 Robustesse des résultats

Dans cette section, on se propose de revoir les résultats de l'étude à la lumière des hypothèses faites sur les principaux paramètres.

L'étude se limite aux bénéfices et aux coûts du seul secteur résidentiel et met l'accent sur les dommages encourus par les propriétaires de résidence. Les municipalités ont en outre à encourir des coûts de nettoyage de la voirie et de protection civile lors des inondations. Les gouvernements fédéral et provinciaux participent à ces coûts, mais la présente étude n'en a pas tenu compte d'une façon particulière. Toutefois, le programme n'affecterait que les coûts associés aux changements des infrastructures de voirie qui auraient été nécessaires aux nouvelles résidences. Ces coûts représentent de faibles sommes à cause des facteurs suivants : la nature semi-rurale de la région, l'existence des infrastructures en place et la faible probabilité que la zone de grands courants soit choisie pour la construction intensive de développements domiciliaires en cas de non-zonage. On peut donc avancer que ces coûts ne modifieront pas l'attitude des municipalités face au programme.

De plus, le programme de zonage des plaines inondables n'affecte pas les activités agricoles, et les avantages de localisation ne sont pas déterminants pour les autres activités économiques. On peut donc conclure que l'exclusion des activités agricoles et des autres activités économiques de l'évaluation n'affecte pas les conclusions obtenues.

Le modèle hydroéconomique utilise une relation des dommages en fonction de la hauteur d'eau, qui a été élaborée avec des données provenant de la région du Richelieu, au Québec. Étant donné la similitude des constructions et de leur contenu, il y a certainement peu de biais à utiliser cette relation dans la région de l'Outaouais. Cependant, la relation calibrée pour l'année 1976 peut sous-estimer

les dommages à long terme à cause de l'évolution du contenu des résidences. Le scénario D dans lequel on retient une augmentation annuelle de 2.5 % de la valeur moyenne des résidences permet de corriger ce biais.

Les scénarios A, B et C correspondent à des extrapolations entre 1977 et 1985, où l'on a :

1) projeté le taux d'augmentation observé du nombre (τ) et de la valeur moyenne (ψ) des résidences dans chacune des villes ou municipalités (scénario A);
2) différentié les régions urbaines et rurales pour la projection du taux d'augmentation du nombre de résidences (τ) (scénario B);
3) retenu un taux d'augmentation uniforme du nombre de résidences (τ) pour toute la région (scénario C).

Comme on le constate aux tableaux 4.3 et 4.4, il y a très peu de différences entre les résultats de ces trois scénarios. Cette conclusion était prévisible étant donné l'importance de la cellule OUT.2 (ville de Gatineau). Pour ces scénarios, le programme reste globalement rentable même avec des baisses de la valeur des terrains vacants de l'ordre de 19 % (taux d'actualisation de 10 %) et de 38 % (taux d'actualisation de 5 %).

Le scénario D, qui privilégie un taux de croissance de la valeur moyenne des résidences de l'ordre de 2,5 % annuellement, nous semble le plus plausible à long terme. Les résultats de ce scénario montrent que le programme est collectivement rentable quoi qu'il advienne de la valeur des terrains. Toutefois, comme pour les scénarios A, B et C, il n'y a pas rentabilité financière pour les gouvernements fédéral et provinciaux. Le rapport bénéfices-coûts est de 0,37 pour le scénario D et un taux d'actualisation de 10 %. Un taux d'actualisation de 5 % ramène ce ratio à seulement 0,90.

Conclusion

Comme nos résultats l'indiquent, ce type de programme ne serait pas rentable financièrement pour les intervenants publics (gouvernements fédéral, provinciaux et municipalités). Toutefois, cette conclusion pourrait être révisée si les coûts de cartographie étaient répartis sur d'autres programmes d'aménagement du territoire.

De plus, même si à long terme, les propriétaires sont nettement bénéficiaires de ce type de programme, ils peuvent y être opposés à court terme à cause de l'incapacité du marché à véhiculer toute l'information. Le risque dû aux inondations n'est pas parfaitement capitalisé dans la valeur actuelle des résidences.

Il est donc clair que ce type de programme ne peut être implanté que dans l'optique d'une politique tutélaire des intervenants publics.

Références

Comité de planification de la régularisation de la rivière des Outaouais. 1980. Rapport final, 96 p.

CRAR. 1977. Évaluation des dommages causés par les inondations en 1976 à divers niveaux d'élévation des eaux de la rivière Richelieu et de la baie Missisquoi. Haut-Richelieu (Québec), Université de Sherbrooke, 210 p.

Desjardins, M.-A., D. Tessier, C. Gignac, et J. Rousselle. 1984. Manuel d'utilisation du modèle stochastique des excédances. Rapport GREMU-84/02, 82 p.

El-Jabi, N 1980. Approche systematique pour l'aménagement des plaines inondables. Thèse de doctorat, École Polytechnique de Montreal. 263 p.

El-Jabi, N., D Richard, et J. Rousselle 1981. Aspect financier du processus crue-dommage. Eau du Quebe , vol. 14, n° 4, pp. 345-351.

El-Jabi, N., F. Ashkar, D. Richard, et J. Rousselle. 1982a. Analyse stochastique des débits de crue pour la province de Québec Rapport présenté au ministère de l'Environnement du Québec, 615 p.

El-Jabi, N., J. Rousselle, F. Brière, et D. Leblanc. 1982b. Aménagement des plaines inondables - Analyse hydroéconomique. Étude n° 127, Série scientifique, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa, 120 p.

Environnement Canada. 1983. Annuaire de l'eau du Canada, 1981-1982, L'eau et l'économie. Ministre des Approvisionnements et Services Canada, 105 p.

Harvey, B. 1979. Politique d'aménagement rationnel des zones d'inondation. Eau du Québec, vol. 12, n° 3, pp. 205-208.

Ouellette, P., N. El-Jabi, et J. Rousselle. 1985. Application of Extreme Value Theory to Flood Damage. ASCE, J. Water Resour. Plann. Manage., vol. 111, n° 4, pp. 467-477.

Ouellette, P., N. El-Jabi, et J. Rousselle. 1986. Analyse de séries chronologiques des dommages d'inondation. Étude n° 146, Série scientifique, Direction générale des eaux intérieures, Environnement Canada, Ottawa, 32 p.

Richard, D. 1981. Analyse comparative des modes de contrôle des inondations. Mémoire de maîtrise, Ecole Polytechnique de Montréal, 266 p.

Todorovic, P., et J. Rousselle. 1971. Some Problems of Flood Analysis. Water Resour. Res., vol. 7, n° 5, pp. 1144-1150.